

پژوهشگاه

مهندسی تاسیسات الکتریکی

تألیف دکتر حسین گلپر



صفحه

عنوان

فهرست

مقدمه

۱

۴

۵

۵

۵

۶

۸

۸

۹

۹

۱۰

۱۱

۱۱

۱۲

۱۲

۱۴

۱۵

۱۷

۲۰

۲۱

۲۲

۲۵

۲۵

۲۶

۲۶

۲۸

۲۸

۲۸

۲۹

۳۱

۳۴

۳۴

۳۵

۳۶

۳۷

۳۸

۴۰

۴۴

۴۵

۴۵

۴۶

۴۷

۴۸

۴۹

۵۰

۵۲

۵۲

۵۶

۵۶

۵۶

۵۸

۶۰

فصل اول : خطرات برق و مقررات ایمنی در برق رسانی

۱-۱- خطرات انرژی برقی

۱-۱-۱- خطر ایجاد برق

۱-۱-۲- خطر برق گرفتگی

۱-۱-۳- احتیاطهای ایمنی

۱-۱-۴- نجات مصدومین برق گرفتگی

۱-۱-۵- لزوم کنترل مرغوبیت وسائل و وضع و رعایت مقررات ایمنی

۱-۱-۶- مقررات ایمنی و کنترل مرغوبیت وسائل در برخی کشورهای خارجی

۱-۱-۷- مقررات ایمنی و کنترل مرغوبیت وسائل در ایران

۱-۱-۸- مقررات بین المللی ایمنی و کنترل مرغوبیت

۱-۱-۹- علام استاندارد

فصل دوم : شبکه های برق رسانی و مدارهای برقی

۲-۱- پیست توزیع خصوصی

۲-۲- مدار برقی و برخی کمینهای برقی

۲-۳- جریان و توان در مدارهای تک فاز

۲-۴- جریان و توان در مدارهای سه فاز

۲-۵- شبکه های برق رسانی

۲-۵-۱- محاسبات شبکه های شعاعی

۲-۵-۲- محاسبات شبکه های حلقه ای

فصل سوم : اصلاح یا تصحیح ضریب توان و تعرفه های برقی

۳-۱- لزوم اصلاح ضریب توان

۳-۲- جریان در خازن متصل به مدار برق متناوب

۳-۳- تصحیح ضریب توان با استفاده از خازن

۳-۴- تعرفه های برقی

۳-۴-۱- تعرفه یک قسمتی

۳-۴-۲- تعرفه دو قسمتی

۳-۴-۳- تعرفه های نرخ برق ایران

۳-۴-۴- اقتصادی ترین ضریب توان

فصل چهارم : سیمهای عایق دار و کابلهای برق رسانی

۴-۱- هادیهای مورد استفاده در سیمهها و کابلها

۴-۲- ساختمان هایی در سیمهها و کابلها

۴-۳- مقاومت الکتریکی سیمهها و کابلها

۴-۴- عایقهای مورد استفاده در سیمهای عایق دار و کابلها فشار ضعیف

۴-۵- ساختمان سیمهای عایق دار و اندازه های استاندارد

۴-۶- ساختمان کابلهای فشار ضعیف و اندازه های استاندارد

۴-۷- علام مشخصه کابلها

فصل پنجم : جریان مجاز سیمهها و کابلها فشار ضعیف

۵-۱- جریان مجاز سیمهای مسی با عایق پی- وی- سی

۵-۲- جریان مجاز کابلهای مسی با عایق و غلاف پی- وی- سی

۵-۳- جریان های مجاز سیمهای مسی بدون عایق

۵-۴- جریان مجاز سیمهها و کابلهای الومینیومی

۵-۵- تحلیل مسئله انتقال حرارت

۵-۶- انتقال حرارت به وسیله هدایت

۵-۷- انتقال حرارت به وسیله کنواکسیون و نتشعشع

۵-۸- محاسبه جریان مجاز

فصل ششم : تعیین مقاطع سیمهای عایق دار و کابلها

۶-۱- تعیین مقاطع سیمهها و کابلها براساس جریان مجاز

۶-۱-۱- مدارهای تک فاز

۶-۱-۲- مدارهای سه فاز

۶-۲- تعیین مقاطع سیمهها و کابلها بر اساس افت ولتاژ مجاز

۶۰	۱-۲-۶ - افت و لتأثر در مدارهای تک فاز
۶۴	۲-۲-۶ - افت و لتأثر در مدارهای سه فاز
۶۸	۳-۶ - تعیین مقاطع سیمهای هوایی براساس افت و لتأثر مجاز
۷۳	فصل هفتم : وسایل کنترل و حفاظت
۷۴	۱-۷ - کلیدهای یک قطبی کنترل مدارهای روشنایی
۷۴	۱-۱-۷ - کلید یک قطبی یک راهه
۷۶	۲-۱-۷ - کلیدهای دوبل
۷۶	۱-۱-۷ - کلید یک قطبی دو راهه (کلید تبدیل)
۷۷	۱-۴-۷ - کلید یک قطبی سه راهه (کلید صلیبی)
۷۸	۲-۷ - کلیدهای کنترل با قطع و وصل خودکار
۷۸	۱-۲-۷ - کلیدهای ساعتی
۷۸	۲-۲-۷ - کلیدهای حرارتی
۷۹	۳-۲-۷ - کلید فشاری
۷۹	۲-۴-۷ - کلید شناوری
۸۰	۵-۲-۷ - کلید حدی
۸۰	۳-۷ - پریزها و دوشاخه‌ها
۸۰	۴-۷ - کلیدهای دو قطبی
۸۰	۵-۷ - کلیدهای سه قطبی
۸۱	۶-۷ - کلیدهای فیوزدار
۸۲	۷-۷ - کلیدهای فشارقوی
۸۲	۸-۸ - لزوم حفاظت و وسایل حفاظتی
۸۳	۹-۷ - فیوزها
۸۳	۱-۹-۷ - فیوزهای معمولی
۸۴	۲-۹-۷ - فیوزهای تأخیری
۸۴	۳-۹-۷ - فیوزها با جزء دوب شونده دو قسمتی
۸۵	۴-۹-۷ - فیوزهای محدود کننده جریان
۸۵	۱۰-۷ - اندازه‌های استاندارد فیوزها و مشخصات آنها
۸۵	۱-۱۰-۷ - اندازه‌های استاندارد فیوزها
۸۵	۲-۱۰-۷ - منحنیهای قطع فیوزها
۸۷	۳-۱۰-۷ - قدرت قطع فیوزها
۸۷	۴-۱۰-۷ - آزمایش فیوزها
۸۸	۱۱-۷ - استفاده از فیوزها برای محافظت
۸۸	۱-۱۱-۷ - محافظت سیمها و کابل‌های انشعابهای معمولی
۹۰	۲-۱۱-۷ - فیوزبندی مدارهای برقرارسانی
۹۰	۳-۱۱-۷ - محافظت انشعاب موتورها
۹۲	۱۲-۷ - حفاظت با کلیدها با قطع خودکار (دیزناکتورها)
۹۳	۱-۱۲-۷ - نحوه قطع دیزناکتورها
۹۳	۱-۱-۱۲-۷ - دیزناکتورها با قطع حرارتی
۹۳	۲-۱-۱۲-۷ - دیزناکتور با قطع مغناطیسی
۹۴	۳-۱-۱۲-۷ - دیزناکتور با قطع حرارتی و مغناطیسی
۹۴	۲-۱۲-۷ - دیزناکتور کوچک (مینیاتور) یا فیوزهای اتوماتیک
۹۵	۳-۱۲-۷ - دیزناکتورهای متوسط و بزرگ
۹۶	۱۳-۷ - کنناکتورها
۹۸	فصل هشتم : سیم کشی داخلی
۹۸	۱-۸ - محافظت های کلی در سیستمهای سیم کشی
۹۸	۱-۱-۸ - محافظت علیه خدمات مکانی
۹۹	۲-۱-۸ - حفاظت علیه توسعه آتش و دود
۹۹	۳-۱-۸ - حفظ فاصله مناسب از لوله‌های تاسیسات دیگر
۹۹	۴-۱-۸ - حفاظت علیه اثرات تلفات جریانهای گردابی و هیسترسیس
۹۹	۲-۸ - سیم کشی روکار بدون استفاده از لوله‌های محافظت
۹۹	۱-۲-۸ - سیم کشی روکار با استفاده از مقره
۱۰۰	۲-۲-۸ - سیم کشی روکار با استفاده از بستهها و گیره‌ها
۱۰۱	۳-۸ - سیم کشی در داخل لوله
۱۰۱	۴-۸ - لوله‌های فولادی
۱۰۲	۱-۴-۸ - نصب لوله‌های فولادی
۱۰۲	۲-۴-۸ - اندازه‌های استاندارد لوله‌های فولادی و ظرفیت مجاز آنها
۱۰۳	۳-۴-۸ - وارد کردن سیم در لوله‌ها
۱۰۴	۵-۸ - لوله‌های پلاستیکی
۱۰۵	۱-۵-۸ - اندازه‌های استاندارد لوله‌های پلاستیکی و ظرفیت مجاز آنها
۱۰۵	۲-۵-۸ - نصب لوله‌های پلاستیکی و سیم کشی در آنها
۱۰۶	۶-۸ - سیم کشی در جاسیمی‌ها
۱۰۹	۷-۸ - سیم کشی با استفاده از کانالهای زیر زمینی

۱۰۹	۸-۸- سیم کشی با کابلها با عایق معدنی
۱۰۹	۹-۸- سیم کشی ضد آتش سوزی
۱۱۱	فصل نهم : طرح سیستم برق خانه های مسکونی
۱۱۱	۱-۹- بارهای روشنایی خانگی
۱۱۲	۱-۹- تعیین میزان بار روشنایی خانگی
۱۱۲	۲-۱-۹- تعیین انشعابهای روشنایی
۱۱۲	۳-۱-۹- کنترل چراغهای روشنایی
۱۱۳	۴-۱-۹- حفاظت انشعابهای روشنایی
۱۱۳	۲-۹- بارهای کوچک خانگی
۱۱۳	۱-۲-۹- تعیین میزان و روش تغذیه بارهای کوچک خانگی
۱۱۳	۲-۲-۹- تعیین تعداد انشعابها برای تغذیه پریزها
۱۱۴	۳-۲-۹- کنترل بارهای کوچک خانگی
۱۱۴	۴-۲-۹- حفاظت انشعابهای پریزها
۱۱۴	۳-۹- بارهای بزرگ خانگی
۱۱۴	۴-۹- نقشه برق کشی خانه های مسکونی
۱۱۵	۵-۹- تعیین تعداد و اندازه انشعابها
۱۱۷	۶-۹- کنترل و تابلو توزیع
۱۱۹	فصل دهم : طرح سیستم برق مراکز صنعتی
۱۲۰	۱-۱۰- سیستم های توزیع برق در مراکز صنعتی
۱۲۱	۲-۱۰- خصوصیات سیستم های توزیع برق در مراکز صنعتی
۱۲۱	۳-۱۰- بارهای روشنایی مراکز صنعتی
۱۲۳	۱-۳-۱۰- تعیین میزان با روشنایی
۱۲۳	۲-۳-۱۰- تعیین تعداد انشعابهای روشنایی
۱۲۳	۳-۳-۱۰- کنترل انشعابهای روشنایی
۱۲۴	۴-۳-۱۰- حفاظت انشعابهای روشنایی
۱۲۴	۴-۱۰- بارهای غیر روشنایی (صنعتی) در مراکز صنعتی
۱۲۴	۱-۴-۱۰- تعیین میزان بار صنعتی
۱۲۷	۲-۴-۱۰- تعداد انشعابها برای بارهای صنعتی
۱۲۷	۳-۴-۱۰- کنترل انشعابهای موتورهای
۱۲۷	۴-۴-۱۰- حفاظت انشعابهای موتورها
۱۲۸	۵-۱۰- مدارهای فرمان موتورها
۱۲۸	۱-۵-۱۰- مدار فرمان راه اندازی موتور القایی سه فاز از یک یا جند محل
۱۳۱	۲-۵-۲۰- مدار فرمان موتور القایی سه فاز چپ گرد و یا راست گرد
۱۳۱	۳-۵-۱۰- مدار فرمان متوقف نمودن سریع یک موتور سه فاز
۱۳۲	۴-۵-۱۰- مدار فرمان موتور القایی سه فاز با رتور قفسی با راه انداز ستاره- مثلث
۱۳۲	۵-۵-۱۰- مدار فرمان راه اندازی موتور القایی با رتور سیم پیچی
۱۳۴	فصل یازدهم : زمین کردن حفاظتی
۱۳۵	۱-۱۱- اصول زمین کردن حفاظتی
۱۳۵	۲-۱۱- حفاظت علیه بار اضافی
۱۳۷	۳-۱۱- حفاظت با استفاده از رله جریان نشتی به زمین
۱۳۷	۱-۳-۱۱- کلید قطع خودکار با استفاده از ولتاژ
۱۳۸	۲-۳-۱۱- کلید فتح خودکار با استفاده از جریان نشتی به زمین
۱۳۸	۴-۱۱- الکترود زمین
۱۳۹	۵-۱۱- مقاومت ویژه زمین
۱۴۰	۶-۱۱- محاسبه مقاومت الکترودها
۱۴۰	۱-۶-۱۱- محاسبه مقاومت الکترود نیم کره
۱۴۱	۲-۶-۱۱- محاسبه مقاومت الکترود میله‌ای
۱۴۱	۳-۶-۱۱- محاسبه مقاومت مجموعه الکترود های میله‌ای
۱۴۲	۷-۱۱- اندازه گیری مقاومت الکترود زمین
۱۴۳	۸-۱۱- نحوه صحیح اتصال بدنه وسایل به زمین
۱۴۴	فصل دوازدهم : بازسازی و آزمایش تأسیسات سیم کشی
۱۴۴	۱-۱۲- وسایل آزمایش
۱۴۵	۱-۱۲- آزمایش اتصال صحیح کلیدها و فیوزها و پریزها
۱۴۶	۲-۱۲- آزمایش متصل بودن مدارها
۱۴۶	۴-۱۲- آزمایش اتصال صحیح سیم زمین
۱۴۷	۵-۱۲- آزمایش عایق بندی
۱۴۸	۶-۱۲- عیب یابی و رفع عیب



بسمه تعالی

پیشگفتار

طراحی سیستمهای سیم کشی اماکن مسکونی و مراکز صنعتی یک فعالیت بسیار معمول مهندسان برق است. این تخصص غالباً در صنعت کسب می شود. هدف از تدوین این کتاب راهنمایی دانشجویان و مهندسان شاغل در این رشته است.

در فصل اول کتاب خطرات برق و مقررات ایمنی در برق رسانی تشریح می شود. در فصل دوم شبکه های برق رسانی و مدارهای برقی تک فاز و سه فاز بررسی می شود. تصحیح ضریب توان و تعریفه های برقی در فصل سوم تشریح می شود. فصل چهارم به سیمهای عایق دار و کابلهای استاندارد ایران و فصل پنجم به جریان مجاز آنها اختصاص یافته است.

در فصل پنجم به دادن جداول اکتفا نمی شود بلکه جریان مجاز سیمهای و کابلها با حل مسئله انتقال حرارت به طور اصولی محاسبه می شود. در فصل ششم مقاطع سیمهای و کابلها براساس جریام مجاز و افت ولتاژ مجاز تعیین می شود. در فصل هفتم وسایل کنترل و حفاظت که عبارت از انواع کلیدها ، فیوزها و کنترلکتورها و دیزئنکتورهای کوچک است تشریح می شود. فصل هشتم شیوه های مختلف سیم کشی داخلی را بررسی می کند . فصل نهم به طراحی سیستم برق خانه های مسکونی و فصل دهم به طراحی سیستم برق مراکز صنعتی اختصاص دارد. در فصل یازدهم زمین کردن حفاظتی و در فصل دوازدهم بازرگانی تأسیسات سیم کشی به اختصار تشریح می شود.

با توجه به اینکه مقررات و استانداردهای کاملی فعلاً در ایران موجود نیست در این کتاب استانداردهایی از کشورهای مختلف مورد بحث قرار گرفته است. امید است به همت مهندسان برق ایران استاندارد ملی کاملی تدوین گردد.

از استاید محترم و دانشجویان عزیزی که اشکالاتی در کتاب ملاحظه می کنند تقاضا دارد آنها را به اطلاع مولف برسانند. با توجه به کمبود شدید کتاب در این رشته، امید است این کتاب مورد استفاده دانشجویان علاقه مند و دانش پژوه میهن قرار گیرد و توفیق خدمتی کوچک نصیب نویسنده شود.

دکتر حسین کلهر



فصل اول

خطرات برق و مقررات ایمنی در برق رسانی

انرژی الکتریکی در حدود یکصد سال پیش از طریق شبکه های کوچک توزیع مورد استفاده قرار گرفت و به علت خصوصیات جالب توجه آن خیلی سریع توسعه یافت. در مقایسه با انواع دیگر انرژی ، انرژی الکتریکی پاکیزه است، به سهولت قابل کنترل و انتقال می باشد و به آسانی به انواع انرژیهای دیگر مورد نیاز بشر قابل تبدیل است. علی رغم همه این مهاسن انرژی برقی دارای دو عیب نیز می باشد. یکی اینکه به میزان قابل ملاحظه ذخیره نمی شود و دیگر اینکه در صورتی که تحت کنترل صحیح نباشد خطرات و خرابیهای زیاد به بار می آورد. اهم این خطرات را در این فصل تشریح می کنیم و برخی پیشگیریهای ایمنی را متذکر می شویم. سپس لزوم وضع و رعایت مقررات و ضوابط ایمنی در برق رسانی را مورد توجه قرار می دهیم و مقررات موجود را تشریح می کنیم.

۱- خطرات انرژی برقی

خطرات مهم برق یکی ایجاد حریق و دیگری برق گرفتگی است که در ذیل تشریح می گردد.

۱-۱-۱- خطر ایجاد برق

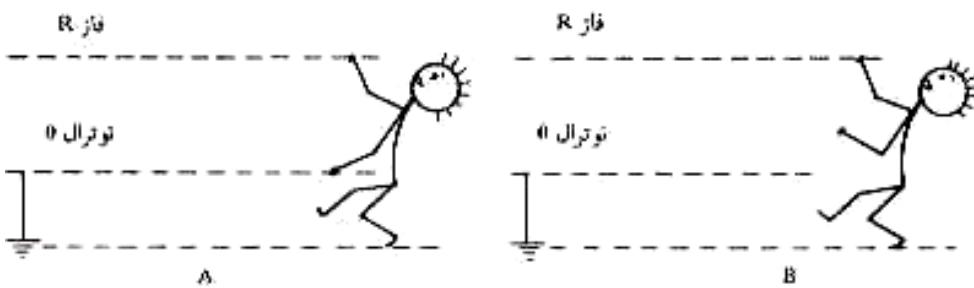
جريان برق در عبور از سیمها و کلید ها و دیگر وسایل برقی تولید حرارت می کند. این حرارت در شرایط عادی به محیط اطراف داده می شود و درجه حرارت وسایل از حد مجاز متجاوز نمی گردد. در صورتی که وسایل مناسبی انتخاب نشده باشد ممکن است درجه حرارت وسایل برق رسانی از حد مجاز تجاوز کند. برای مثال یک کلید معیوب که محل اتصال آن خورده شده است نسبت به کلید سالم حرارت تولید می کند . همچنین سر پیچ لامپهای کوچکتر در نظر گرفته شده باشد و استفاده از لامپهای بزرگتر که امروزه معمول شده اند حرارت بیشتری تولید می کند . این حرارت اضافی به سهوات جذب محیط نشده و باعث ازدیاد درجه حرارت می شود .

این افزایش درجه حرارت سبب فرسوده شدن و از بین رفتن عایق های سیم ها و دیگر وسایل می گردد . از بین رفتن عایق ها باعث اتصال سیم ها و ایجاد جرقه الکتریکی می شود و حرارت ناشی از جرقه ها می تواند در شرایط مساعد به سهولت سبب بروز حریق گردد . حفاظت در مورد خطر ایجاد حریق از طریق انتخاب سیم ها و سایل مناسب و حفاظت مدارها به وسیله فیوزها با اندازه های صحیح ممکن است . به این ترتیب در شرایطی که به هر دلیل جریان مجار از حد مجاز افزایش یابد ، فیوز عمل کرده و مدار را قطع می نماید . همچنین با افزایش سیستم برقی هر سال یک بار می توان از ضعیف شدن عایق آن و خطرات احتمالی آگاهی یافت .

۱-۲-۱- خطر برق گرفتگی

برق گرفتگی اثر سوء برق روی سیستم بدن انسان است. به طوری که می دانیم فرمانها برای حرکات عضلات بدن از مغز بوسیله جریانهای برقی بسیار ضعیف از طریق سلسله اعصاب به عضلات مخابره می شود. در صورتی که جریانهای برقی از خارج روی اعصاب اثر می گذارند موجب حرکات ناگهانی و بسیار شدید عضلانی می گردد که برق گرفتگی یا شوک نامیده می شود و ممکن است که کار آن قسمتها را به طور موقت یا دائم متوقف کند. بدینه است که مختل شدن کار بعضی قسمتها نظیر مغز، قلب یا ششها می تواند سریعاً سبب مرگ شود.

شدت شوک گرفتگی به میزان جریان بستگی دارد که به بدن وارد می شود این بستگی به میزان ولتاژ و مقاومت مدار تشکیل شده دارد. مقاومت مدار معمولاً شامل مقاومت قسمتی از مدار برق رسانی، مقاومت بدن و در بیشتر موارد مقاومت مربوط به تماس یا اتصال بدن با زمین است. برای روشن شدن موضوع به شکل ۱-۱ دقت کنید.

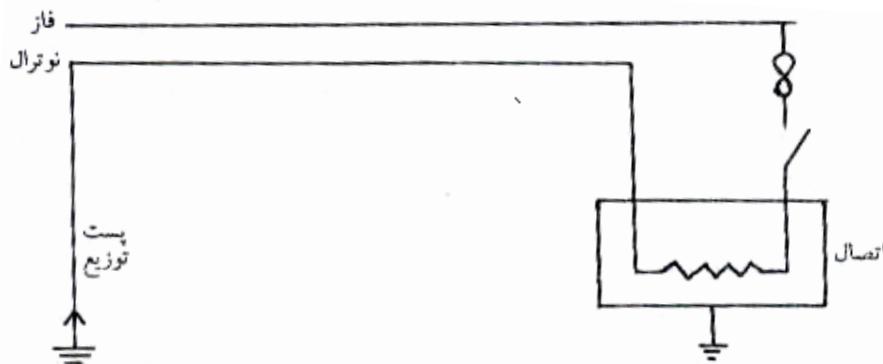


شکل ۱ - ۱: تماشی دو مدار مختلف در برق گرفتگی

در شکل (A) مصدوم با یک دست به سیم فاز بدون عایق و با دست دیگر به سیم خنثی متصل است و از طریق بدن او و قسمتی از سیمهای مدار بسته ای تشکیل می شود. بدن انسان دارای مقادیر زیادی آب و املاح هادی الکتریسیته می باشد و لذا دارای مقاومت نسبتاً کمی است . لیکن پوست بدن دارای مقاومتی بیشتری است و از یک شخص به شخص دیگر متغیر است شدیداً با شرایط پوست مثل خشک بودن یا مرطوب بودن تغییر می کند. اگر پوست مرطوب باشد آب به سوراخهای پوست نفوذ می کند. در این شرایط عادی به بدن کاملاً خشک مقاومت بین دو دست در حدود یک مگا اهم است ولی در بدن تر تا ۱۰۰۰ اهم پایین می آید. ولتاژ ۲۲۰ ولت جریانی در حدود ۲۲۰ میلی آمپر در بدن برقرار می کند که بسیار خطرناک و به احتمال قوی کشنده است. کمترین ولتاژی که سبب برق گرفتگی منجر به مرگ شده ، در تاریخ ۳۸ ولت ثبت شده است. چون اتفاقی که در عمل اتفاق می آفتد این است که پوست بدن در نقاط اتصال به سیم می سوزد و مقاومت لایه چربی از بین می رود و لذا مقاومت مدار کم می شود. در شکل (B) مدار از طریق بدن و اتصال به زمین و نوترال که در پست ترانسفور ماتور به زمین متصل است (دلیل این نحوه اتصال را بعداً خواهیم دید) تکمیل می شود. مقاومت اتصال بدن به زمین بستگی به وضعیت زمین و پاپوش شخص دارد. مثلاً اگر شخصی کفی با کف لاستیکی به پا داشته باشد و روی قالی کلفت و خشکی ایستاده باشد مقاومت بسیار زیاد خواهد بود و این برق گرفتگی معمولاً منجر به مرگ نمی گردد .

لیکن در صورتی که شخص با پای بر亨ه روی زمین مرطوب یا تر ایستاده باشد مقاومت مدار کم می شود و جریانهایی که برقرار می شود کشنده خواهد بود. به طوری که ملاحظه می کنید در حالات عادی برق گرفتگی در اثر اتصال قسمتی از بدن به سیم فاز یا سیم گرم صورت می گیرد و لذا برای جلوگیری از برق گرفتگی سیمهها و دیگر اجزاء فلزی را که در شرایط عادی حامل الکتریسیته هستند عایق بندی می کنیم و قسمتهای برق دار وسایل را طوری در داخل جعبه ها یا محفظه ها تعییه می کنیم که دست زدن به آنها به طوری سهولی ممکن نباشد. به طوری که می دانید بسیاری از وسایل برقی دارای بدن فلزی هستند که در صورت خرابی عایق سیمهها یا دیگر اجزاء داخلی و اتصال فاز به بدن گرم و خطرناک می شوند. برای جلوگیری از این پیشامدها به دو طریق عمل می کنیم. یک روش که به عایق بندی دوبل معروف شده است عبارت از این است که بدن فلزی را کاملاً از پوشش

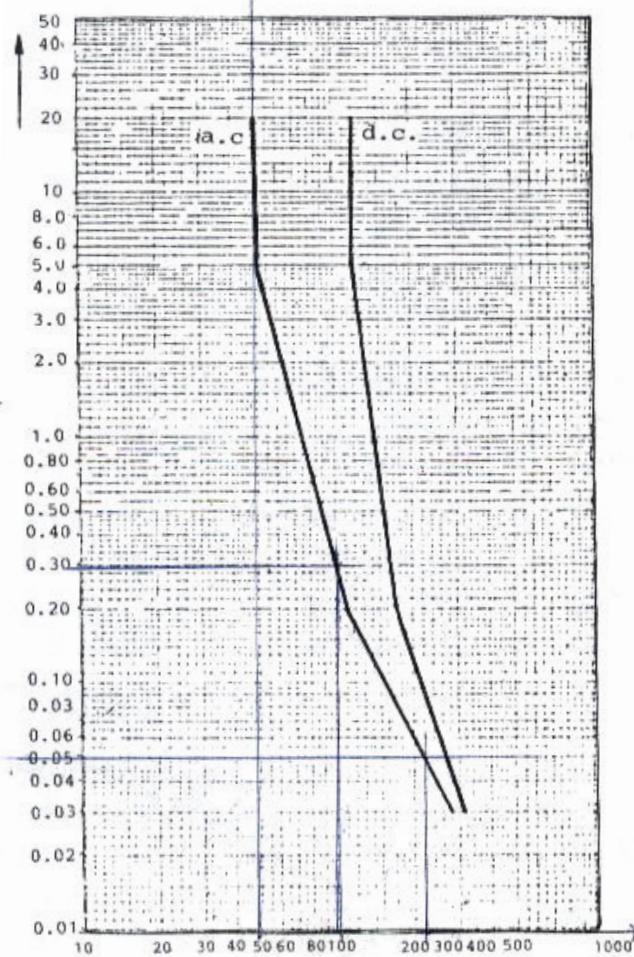
پلاستیکی عایق می پوشانیم به طوری که تماس با بدنه فلزی ممکن نشوو در مواردی که بدنه فلزی ضروری نباشد بدنه را که از پلاستیک عایق می سازیم. روش دوم که به زمین کردن حفاظتی موسوم است عبارت از این است که بدنه فلزی دستگاهها را به زمین متصل می کنیم. نظر به اینکه سیم نوترال هم در پست توزیع به زمین متصل است در صورت خرابی و اتصال فاز به بدنه جریان زیادی ندارد شامل سیم فاز و زمین برقرار می شود که منجر به ذوب فیوز و رفع خطر می گردد. این روش در شکل ۲-۱ نشان داده شده است و به دلیل اهمیت زمین کردن حفاظتی و زمین کردن نوترال یک فصل کتاب را به این امر اختصاص داده ایم.



شکل ۲-۱ رفع خطر برق گرفتگی از طریق زمین کردن حفاظتی در حالت اتصال فاز به بدنه

بدیهی است که مقاومت اتصال به زمین باید از حد معمولی کمتر باشد تا این روش حفاظتی به درستی عمل کند. برای مثال اگر فیوز ۱۰ آمپری باشد و مقاومت اتصال به زمین ۳۰ اهم باشد

جریانی برابر $\frac{220}{30}$ یا $\frac{7/3}{30}$ آمپر در مدار برقرار می شود که قادر به ذوب فیوز و رفع خطر نخواهد بود و بدنه دستگاه گرم باقی خواهد ماند. در چنین حالات بایستی از وسایل حفاظتی حساس تر مثل رله های اتصال زمین استفاده کرد که در صورت برقرار شدن جریانهای خیلی کوچک در مدار زمین در مدت کوتاهی عمل می کند و مدار را قطع می نماید. کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (به قسمت ب مراجعه شود) ولتاژ برق متناوب و مستقیم که در صورت تماس با بدنه شخصی که روی زمین ایستاده است بی خطر می باشد را مطابق شکل ۱-۳ تعیین نموده است. به طوری که از منحنی ملاحظه می کنید ولتاژ ۵۰ ولت را می توان برای مدت طولانی تحمل کرد لیکن ولتاژ ۱۰۰ ولت برای مدتی بیشتر از $3/0$ ثانیه و ولتاژ ۲۲۰ ولت برای مدتی بیشتر از $5/0$ ثانیه قابل تحمل نمی باشد. بنابراین وسایل حفاظتی باید طوری انتخاب شوند که در مدت مجاز مدار را قطع کنند. برای مثال اگر سیم فاز ۲۲۰ ولت مستقیماً به بدنه برخورد کند ولتاژ بدنه برابر ۲۲۰ ولت خواهد شد و وسیله حفاظتی باید در مدت $5/0$ ثانیه عمل کند تا شخصی که با بدنه در تماس است آسیب نسبند.



شکل ۱ - ۳: تغییرات حداقل ولتاژ قابل تحمل با مدت زمان تماس

اثر جریانهای برق روی بدن انسان به وسیله آزمایش‌های بسیاری که روی انسان و حیوانات هم جثه انسان انجام شده است برای برق ۵۰ هرتز به شرح زیر تعیین شده است.

جریان (بر حسب میلی آمپر)	اثر
$I < 1$	غیر قابل تشخیص
$1 < I < 5$	همراه با ناراحتی قابل تحمل
$5 < I < 12$	همراه با ناراحتی شدید
$I = 16$ (مردان) $I = 10/5$ (زنان)	آستانه از دست رفتن کنترل عضلات و قدرت رها کردن سیم ها
$I > 30$	اختلال سیستم تنفسی
$I > 75$	بی نظمی یا توقف کامل قبل یا هلاکت

در فرکانس‌های کم ۵۰ تا ۶۰ هرتز جریانی که به بدن وارد می‌شود، تقریباً به طور یکسان در بدن تقسیم می‌شود و در صورتی که قلب یا مرکز کنترل تنفس در مغز در مسیر جریان قرار گیرد موجب برق گرفتگی می‌شود. با احتساب مقاومت بین دو دست برابر ۱۰۰۰ اهم ملاحظه می‌کنید که ولتاژهای بیشتر از ۷۵ ولت بین دو دست انسان بسیار خطرناک است. در فرکانس‌های بالاتر (بیشتر از ۱۰ کیلوهرتز) جریان ورودی به بدن به سطوح خارجی بدن محدود می‌شود و از قسمتهای حساس داخلی نمی‌گذرد. برای مثال در فرکانس ۵۰ هرتز جریانهای بیشتر از ۱ میلی آمپر قابل تشخیص هستند در حالی که در فرکانس ۱۰۰ کیلو هرتز به جریانهای کمتر از ۱۰۰ میلی آمپر قابل تشخیص نیستند.

۲-۱- احتیاطهای ایمنی

برای جلوگیری از برق گرفتگی لازم است به توصیه های زیر توجه شود:

- الف - هیچگاه روی مدار برق دار (گرم) کار نکنید. معمولاً قطع برق برای مدت کوتاه در برخی ساعت‌ها بدون اشکال است.
 - ب - قبل از شروع کار مدار را امتحان کنید و از گرم نبودن آن اطمینان حاصل کنید. به قطع بودن کلید اکتفا نکنید زیرا ممکن است کلید اشتباهًا روی سیم نوترال نصب شده باشد.
- در صورتی که کلید از محل کار دور است به ترتیبی اطمینان حاصل کنید که در طی مدت کار شخص دیگری امکان بستن کلید را نداشته باشد. با زدن قفل به درب جعبه کلید یا نصب تابلوی اعلام خطر و یا نگهداری فیوزها در جیب خود می‌تواند این کار را انجام دهید.

ت - در صورتی که مجبور به کار روی سیستم برق دار هستید از کفشهای کف پلاستیکی و از ابزار مناسب با عایق بندی سالم استفاده کنید. همیشه در نظر داشته باشید که عایق ابزار به مرور زمان معیوب می‌شود. در صورت امکان تنها با یک دست کار کنید و دست دیگر را در جیب خود نگه دارید تا مدار الکتریکی بسته از طریق نقاط حساس بدن شما تشکیل نشود.

۳- نجات مصدومین برق گرفتگی

به طوری که **فلاً نیز** گفته شد برق گرفتگی شدید با فلجه شدن دستگاه اعصاب همراه است. در بسیاری از موارد قلب مصدوم به کار خود ادامه می‌دهد لیکن سیستم تنفسی از کار می‌آفتند و در صورتی که کمک فوری به مصدوم نرسد خواهد مرد. به محض مشاهده مصدوم که در اثر برق گرفتگی بیهوش شده است باید بدون فوت وقت عملیات زیر را انجام داد:

الف- اطمینان حاصل کنید که مصدوم به برق متصل نباشد چه در آن صورت به محض تماس شما هم دچار برق گرفتنی خواهید شد در صورتی که امکان کلید برق را قطع کنید یا به وسیله جسم عایقی مثل چوب ، سیم را از او دور کنید و یا به وسیله گرفتن لباس خشک مصدوم او را به آرامی کشیده و از سیم دور کنید.

ب- اگر قلب از کار ایستاده باشد باید ماساژ قلبی داده شود. در یک روش قدیمی با دست روی سینه (روی قلب) مصدوم ۶۰ تا ۸۰ مرتبه در دقیقه فشار زیاد وارد می آورند و امروزه از دستگاههایی که به این منظور ساخته شده است استفاده می شود. ماساژ قلبی کار آسانی نیست و باید توسط شخص متخصص انجام می شود لیکن چون نرسیدن خون به مغز به مدت ۵ دقیقه سبب مرگ می شود، بهتر است این کار هرچه زودتر و در صورت امکان توسط متخصص آغاز شود.

پ- اگر قلب تپش عادی دارد ولی مصدوم تنفس نمی کند، باید بدون فوت وقت تنفس مصنوعی آغاز می شود. اگر تا ۲ دقیقه بعد از سانحه تنفس شروع شود، شанс نجات خیلی زیاد است و اگر بعد از ۱۰ دقیقه تنفس شود آغاز شود شанс نجات کم می شود، لیکن دیده شده است که شروع تنفس حتی نیم ساعت بعد از سانحه سبب نجات شده است. در یک روش قدیمی تنفس مصنوعی، مصدوم را به روی شکم می خوابانند و با وارد کردن فشار روی شانه های او هوا را از ششهای وی خارج می کرند و با بالا کشیدن کتف های او و آزاد کردن سینه، هوا در آن وارد می کرند. این روش با اینکه جان بسیاری از مصدومین را نجات داده است روشی کند است و در مواردی که مصدوم در اثر شوک یا افتادن دچار سوختگی یا شکستگی شده باشد، ممکن است صدمات بیشتری وارد کند. روش جدیدی از امروزه معمول است روش دهان به دهان نام دارد. در این روش مصدوم را به پشت می خواباند و سرش را تا حد امکان به عقب می کشد تا راه هوا به ششهای کاملاً باز شود. بینی او را فشار دو انگشت بسته به دهان خود را روی دهان مصدوم گذاشته در آن می دمند تا سینه او بالا آید. سپس خود نفسی گرفته با باز کردن بینی مصدوم اجازه می دهدن هوا از ششهای وی خارج شود. این سیکل کامل را ۱۰ تا ۱۲ مرتبه در دقیقه تکرار می کنند تا مصدوم شروع به تنفس طبیعی کند. تنفس مصنوعی را باید حوصله ادامه داد، دیده شده است که مصدومی بعد از ۱۰ ساعت تنفس مصنوعی نجات یافته است.

ت- کسی را برای مطلع ساختن پزشک بفرستید. در صورتی که دست تنها هستید در حین دادن تنفس مصنوعی با فریاد زدن طلب کمک کنید.

ث- هیچگاه مواد خوراکی یا نوشیدنی به مصدوم بیهوش ندهید .

۱-۴- لزوم کنترل مرغوبیت وسایل و وضع و رعایت مقررات ایمنی

با آنچه تاکنون دیده شده است سعی در کاهش خطرات ناشی از برق امری طبیعی به نظر می رسد که از دو طریق ممکن است. اول از طریق کنترل مرغوبیت و کیفیت مواد وسایل مورد استفاده که توسط کارخانجات مختلف ساخته و به بازار عرضه می شود و دوم از طریق وضع و اجرای مقررات که ضامن ایمنی سیستمهای برق رسانی باشد. در کشورهای مختلف از سالیان پیش سازمانهایی جهت انجام مقاصد فوق تشکیل شده است و نظر به اینکه ما مصرف کننده بسیاری مصنوعات الکتریکی از این کشورها هستیم، آشنایی مختصر با استانداردهای آنها بسیار مفید است و در مقایسه با روشهای کشور خودمان نیز سودمند است.

۱-۴-۱- مقررات ایمنی و کنترل مرغوبیت در برخی کشورهای خارجی

بسیاری از کشورهای صنعتی جهان برای سالیان دراز دارای مقررات ایمنی بوده اند. مثلاً در ایالات متحده آمریکا از سال ۱۸۹۰ مقررات ایالتی موجود بوده و در سال ۱۸۹۷ مقررات مملکتی به نام مقررات ملی برق^{۱۱} وضع شده که به طور مرتبت مورد تجدید نظر قرار می گرفته است. هدف این مقررات حفاظت اشخاص، ساختمنها و محتويات آنها از خطرات ناشی از الکتریسیته می باشد. پژوهه های برق رسانی اعم از خانگی یا صنعتی پس از تکمیل مورد بازرگانی بازرسان دولتی قرار می گیرد و در صورتی که کارها مطابق

مقررات انجام شده باشد جواز لازم صادر می شود و اتصال سیستم به شبکه توسط شرکتهای برق منطقه ای بلامانع است. اجرای این مقررات در شروع صنعت برق رسانی بسیار مشکل بود لیکن با پیشرفت تکنولوژی ساختن وسایل ایمنی ممکن شده است و اجرای مقررات آسانتر گردیده است. مثلاً در قوانین سال ۱۸۹۰ آمریکا لازم بود هر مدار برقی را حداقل دوبار در روز برای اندازه گیری جریان نشستی به زمین به علت عایق معیوب مورد آزمایش قرار دهند. نظر به اینکه وسایل الکتریکی غیر مطمئن و ناقص با وجود سیم کشی صحیح و مطابق مقررات موجب بروز حادثی می گردد، آزمایشگاههایی به نام آزمایشگاه های بیمه گران^۲ در آمریکا دائز گردیده که دارای شبکاتی در بعضی شهرهای بزرگ آمریکا می باشد. کارخانجات سازنده وسایل الکتریکی در صورت تمایل نمونه هایی از وسایل خود را برای آزمایش به این آزمایشگاه های می فرستند. در صورتی که در طی آزمایشهای دستگاهها از حداقل ایمنی مقرر برخوردار باشد به سازنده اجازه داده می شود که علامت آزمایشگاه را به نشانه تایید روی این قبیل دستگاههای خود درج کنند. آزمایشگاهها این قبیل آزمایشها را به طور مرتب روی این وسایل تکرار می کنند و هر زمان که کیفیت آنها از حداقل مقرر پایینتر باشد، استفاده از علامت تایید به منوع می گردد. خریدار وسایل هم طبیعتاً برای راحتی خیال خود وسایلی را که مورد تأیید این آزمایشگاهها قرار گرفته اند خریداری می کنند.

در انگلستان مقررات مشابهی به نام مقررات برای وسایل برق خانگی^۳ موجود است که توسط جامعه مهندسان برق وضع گردیده است. مشخصات کیفی وسایل، روشهای آزمایش تایید وسایل برقی و غیر برقی توسط انتستیتو استاندارد بریتانیا^۴ تعیین می شود.

در آلمان غربی مقررات مشابهی برقرار است که توسط جامعه مهندسان آن کشور وضع شده و کیفیت وسایل برقی توسط استانداردهای VDE^۵ و یا DIN معین می شود. نظر به اینکه بسیاری از مصنوعات برقی از آلمان به ایران وارد می شود و یا توسط شرکتهای دو ملیتی آلمانی و ایرانی در ایران مطابق استانداردهای آلمانی ساخته می شود آشنایی با این استانداردها دارای اهمیت زیاد است.

۲-۴-۱- مقررات ایمنی و کنترل مرغوبیت وسایل در ایران

حدود ۳۰ سال پیش سازمانی به نام مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تأسیس گردید که هدف آن آزمایش و تأیید همه فراورده های صنعتی می باشد و برخی تولید کنندگان علامت تأیید این مؤسسه را روی وسایل سخت خود نصب می کنند. استانداردهای برقی این مؤسسه از استانداردهای بین المللی اقتباس شده است. در حال حاضر این سازمان دارای آزمایشگاه های مجهزی برای انجام آزمایشهای تأیید وسایل برقی است.

در زمینه مقررات ملی، با این که جامعه ملی الکترونیک ایران چند سالی است موجودیت یافته است و برخی مقررات بین المللی را ترجمه کرده است، متأسفانه مقررات ملی ایمنی در برق رسانی تدوین نشده است. در قراردادهای تأسیسات بزرگ گاهی اجرای کارها بر اساس مقررات برقی کشورهای خارجی قید می شود ، لیکن در غالب موارد مخصوصاً در کارهای کوچک رعایت هیچگونه مقرراتی الزامی نیست و شرکتهای برق منطقه ای قبل از وصل برق هیچگونه مجوزی که دال بر بی عیب بودن سیستم داخلی باشد را خواستار نمی شوند . کراراً شاهد تلفات جانی و آتش سوزیها در اثر تأسیسات غیر فنی و نادرست و شبکه های توزیع معیوب بوده ایم که اسباب تأسف فراوان است. باعث تعجب بسیار است که در ایران عده زیادی از افراد بدون هیچگونه اطلاع برقی به خود اجازه نصب یا تعمیر دستگاهها و ادوات برقی را می دهند. برای جلوگیری از این نابسامانیها باید هرچه زودتر با استفاده از مقررات کشورهای پیشرفته خارجی یا مقررات بین المللی ظوابط کامل و مناسبی برای ایران تدوین گردد و همگان ملزم به رعایت آن شوند.

²- underwriter's Laboratories(UL)

³-Inestitution of Electricel Engineers Regulation for the Electricel Equipment of Buliding 14 th,edition, 1970

4-british standards Institution

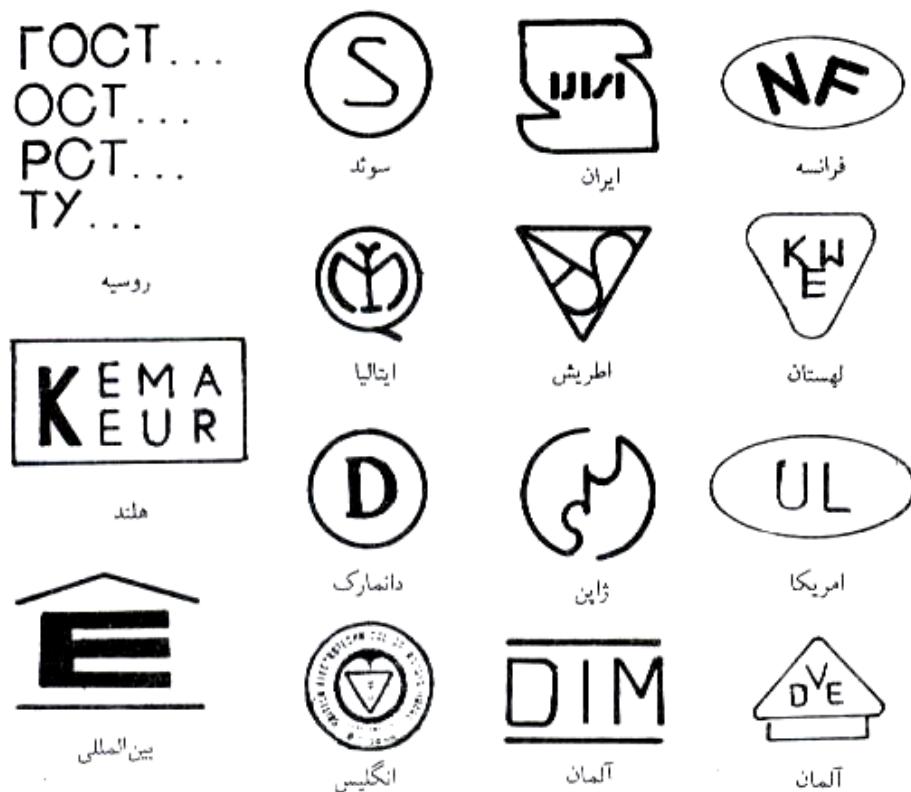
5-Verein Deutscher Elektrotechniker

٤-٣-مقررات بين المللّي ايمني و كنترل مرغوبية

به منظور هماهنگ نمودن مقررات ایمنی برق و ضوابط مربوط به کنترل کیفیت وسایل برقی کشورهای مختلف، در سال ۱۹۰۴ جلسه‌ای از نمایندگان تعدادی از کشورهای اروپایی و آمریکایی در شهر سن لوییس آمریکا تشکیل شد. متعاقب آن در سال ۱۹۰۶ کمیسیون بین المللی الکترونیک^{۴۶} تشکیل شد که اهم کار آن پذیرش سیستم آحاد بین المللی در دهه ۱۹۳۰ است. در سال ۱۹۶۷ این کمیسیون از طرف سازمان ملل متحد مأموریت یافت که مقررات ایمنی برق رسانی را تدوین نماید. کمیته‌ای به نام tC مسئول تهیه مقررات لازم برای تاسیسات برقی ساختمانها گردید که گزارش ۳۶۴ را تدوین نمود. این مقررات برای استفاده کشورهای در حال توسعه که مقررات ملی ندارند در نظر گرفته شده است، لیکن کشورهای صنعتی جهان هم برای توسعه تجارت خارجی خود نسبت به هماهنگ نمودن مقررات ملی نمودن مقررات بین المللی اقدام نموده‌اند.

۱-۴-۴- علائم استاندارد

علائم استاندارد که قاعدتاً معرف مرغوبیت مصنوعات الکتریکی است برای برخی از کشورها که کالاهایشان در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد جهت آشنایی در ذیل داده شده است.



شکل ۱ - ۴: علامه استاندارد مرغوبیت وسائل ۱۳ کشور جهان



فصل دوم

شبکه های برق رسانی و مدارهای برقی

در ابتدای صنعت برق شبکه های کوچک برق مستقیم مورد استفاده بودند ، لیکن برق متناوب به دلیل سهولت تولید و انتقال به سرعت جاشین برق مستقیم گردید. به طوری که می دانید تولید انرژی الکتریکی امروزه در نیروگاههای بزرگ با راندمان بالا انجام می شود. به دلایل اقتصادی و فنی ولتاژ آلترناتورها به حداکثر ۲۰ کیلو وات محدود است. به منظور کاهش دادن تلفات در انتقال انرژی به نقاط دور ولتاژ برق را با استفاده از ترانسفورماتورها افزایش می دهند و از طریق شبکه بهم پیوسته به نقاط دور منتقل می کنند (حداکثر ولتاژ شبکه ایران ۴۰۰ کیلو وات است). در نزدیکی شهرها ولتاژ را به کمک ترانسفورماتورها به حدود ۶۳ کیلو وات کاهش می دهند و خط ۶۳ کیلو ولت به صورت حلقه ای شهر را دور می زند. در نزدیکی مراکز بار ولتاژ را به ۲۰ کیلو ولت یا ۱۱ کیلو ولت^{۱*} کاهش می دهند که در پستهای توزیع به ولتاژ مصرفی ۳۸۰ ولت تبدیل می شودبا اینکه غالباً در برق رسانی از ولتاژ ۳۸۰ ولت استفاده می شود بسیاری از مصرف کنندگان بزرگ برق را در ولتاژ ۲۰ کیلو ولت یا ۱۱ کیلو ولت خریداری می کنند و در پست خصوصی خود ولتاژ آن را کاهش می دهند و لذا آشنایی مختصری با پستهای توزیع ضروری است.

در این فصل با پست توزیع، شبکه های توزیع و مدارهای تک فاز و سه فاز آشنا خواهیم شد.

۲-۱- پست توزیع خصوصی

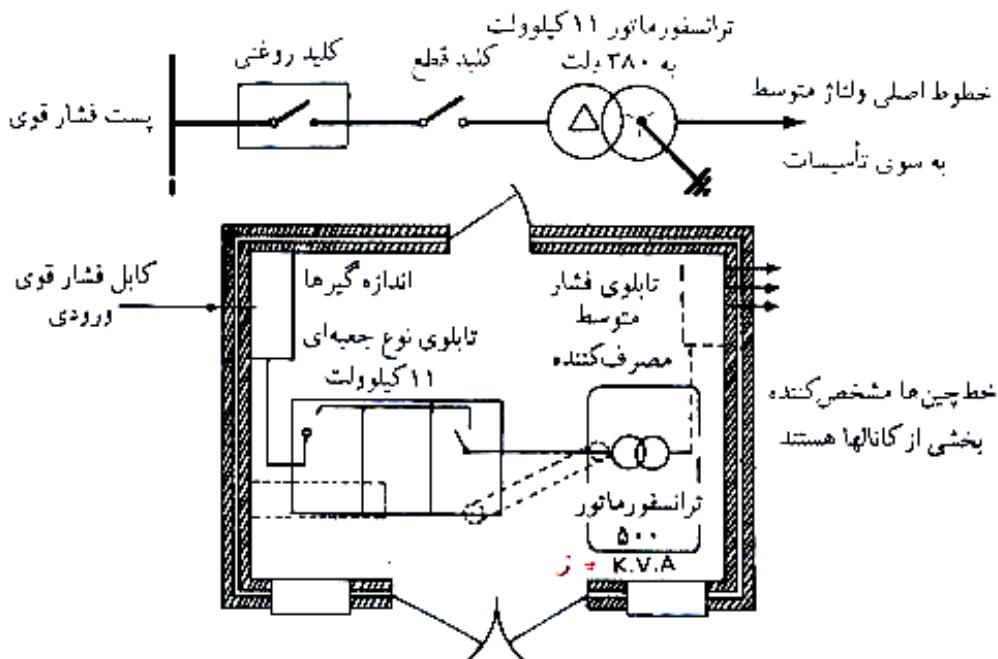
پست توزیع خصوصی را در مرکز بار قرار می دهیم تا طول خطوط برق رسانی، تلفات انرژی و افت ولتاژ به حداقل ممکن برسد. ظرفیت پست تعداد ترانسفورماتورها را بر اساس میزان بار ، ضریب اطمینان لازم ، قیمت اولیه و هزینه تلفات انرژی از بین اندازه های استاندارد معین می کنیم. به منظور کاهش دادن وسایل ذخیره یا رزو یدکی در صورت امکان از ترانسفورماتورهای هم ظرفیت یکسان استفاده می شود. اندازه های استاندارد ترانسفورماتورهای توزیع ۲۰ کیلو ولت به ۴۰۰ ولت بر حسب کیلو ولت آمپر در جدول ۱-۲ آمده است. کارخانه ایران ترانسفورماتور بسیاری از این اندازه های استاندارد را در ایران تولید می کند.

جدول ۱-۲ : اندازه های استاندارد ترانسفورماتورهای توزیع به کیلو ولت آمپر

۵	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۶۰	۲۰۰
۲۵۰	۳۱۵	۴۰۰	۵۰۰	۶۳۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۶۰۰	۲۰۰۰

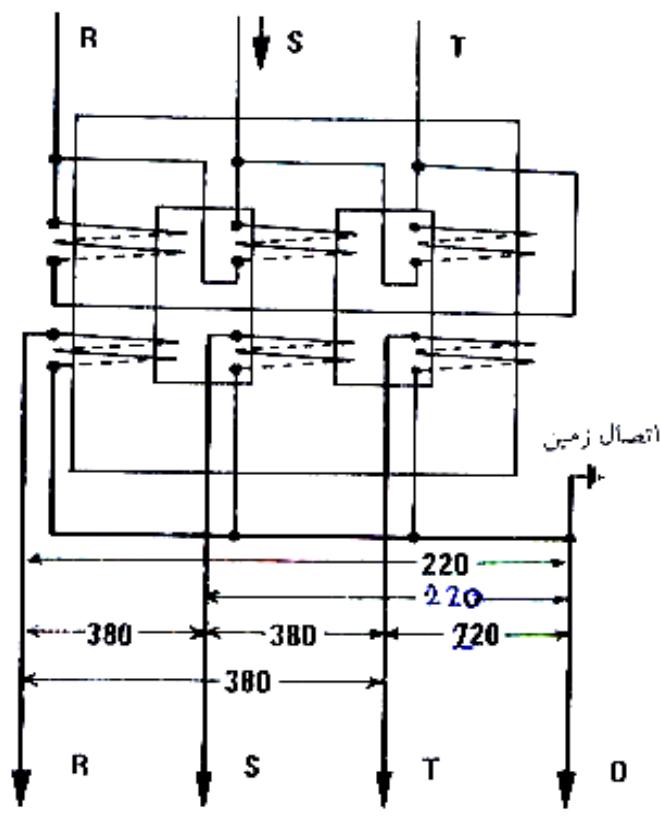
*شبکه های توزیع قدیمی در ولتاژ ۱۱ کیلو ولت کار می کردند. امروزه در غالب شهرهای بزرگ این شبکه ها به ۲۰ کیلو ولت تبدیل شده اند.

برای نمونه مدار تک سیمی و ترتیب قرار گرفتن وسایل در یک پست توزیع ۵۰۰ کیلو ولت آمپر ۱۱ کیلو ولت به ۳۸۰ ولت در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. مساحت اتاق پست در حدود ۲۰ متر مربع و ارتفاع سقف آن در حدود ۲/۷۵ متر است. درب اصلی باید بزرگ باشد و به طرف خارج باز شود به طوری که بتوان ترانسفورماتور و دیگر وسایل را به سهولت به داخل برد. سقف باید دارای استحکام کافی باشد تا بتوان با آویختن زنجیر از آن ترانسفورماتور و دیگر وسایل را در جای خود مستقر نمود. به طوری که ملاحظه می کنید کابل ولتاژ قوی و وسایل اندازه گیری و تابلو ۱۱ کیلو ولت در یک طرف اتاق قرار دارند. تابلو ولتاژ قوی به یک کلید با قطع اتوماتیک و یک کلید جدا کننده مجهز است. تابلوی ولتاژ ضعیف به دلایل اینمی در طرف دیگر اتاق مستقر است. اولیه ترانسفورماتور به صورت مثلث و ثانویه آن به صورت ستاره متصل است. وضعیت واقعی اتصال ترانسفورماتور در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱: پست توزیع ۵۰۰ کیلوولت آمپری ۱۱ کیلوولت به ۳۸۰ ولت

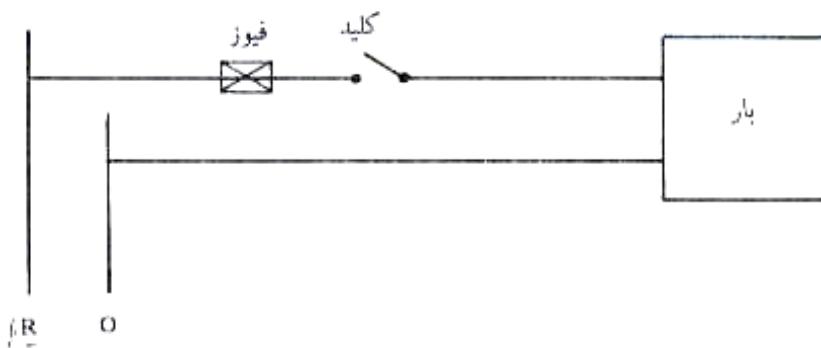
به طوری که ملاحظه می کنید سه سر سیم پیچهای ثانویه به هم متصل شده اند که نقطه نوترال یا خنثی نامیده می شود و با حرف ۰ مشخص شده است. سه سر دیگر با حروف T.S.R مشخص گردیده اند. نقطه نوترال رادر محل پست به زمین اتصال می کنیم. این عمل از طریق کوبیدن میله های فلزی بلند در زمین مرتبط و اتصال آنها به یکدیگر و به نقطه نوترال انجام می شود. علت انجام این عمل این است که در صورتی که یکی از فازها به بدنه ترانسفورماتور اتصالی پیدا کند ولتاژ فازهای سالم نسبت به بدنه یا نسبت به زمین که بدنه ترانسفورماتور روی آن قرار گرفته و با آن در تماس است از مقدار اسمی آن متجاوز نگردد. اگر نوترال به زمین متصل نباشد در صورت اتصال یک فاز به بدنه ولتاژ فازهای سالم نسبت به بدنه برابر ولتاژ خط یعنی ۳۸۰ ولت می شود که کار عایق بندی را خیلی مشکلتر می کند. همچنین در محل اتصال فاز به بدنه جرقه الکتریکی برقرار می شود و دائمًا قطع و وصل می شود و باعث تغییر ولتاژ فازهای سالم و اختلال در قسمت سالم شبکه میگردد. به این دلایل برخی دیگر امروزه در همه شبکه های توزیع سیم نوترال را به زمین متصل می کنیم و شبکه های با نوترال زمین نشده معمول نمی باشند. به طوری که قبل از دیده این شبکه ها در صورتی که شخصی که روی زمین ایستاده است با یکی از فازها تماس حاصل کند دچار برق گرفتگی خواهد شد.



شکل ۲ - ۴ : اتصال الکتریکی یک ترانسفورماتور توزیع

۲-۲ مدار برقی و برخی کمینهای برقی

تغذیه بارهای الکتریکی توسط مدار برقی انجام می‌شود. هر مدار علاوه بر سیمهای رابط شامل سه جزء منبع تغذیه، وسائل حفاظت و کنترل و بار می‌باشد. یک مدار ساده در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. در این مدار منبع تغذیه برق تک فاز است که از شبکه توزیع گرفته می‌شود. وسیله حفاظت یک فیوز و وسیله کنترلیک کلید است و بار معمولاً ترکیبی از مقاومت و خود القاء می‌باشد. مدار برق تشابه نزدیکی به شبکه آبرسانی دارد. ولتاژ منبع تغذیه به مثابه فشاری است که تلمبه با ارتفاع تانک ذخیره تأمین می‌کند واحد آن ولت است. منبع تغذیه ای که به هر کولمب بار الکتریکی یک ژول انرژی می‌دهد. دارای ولتاژ یک ولت است بنابراین یک ولت برابر یک ژول بر یک کولمب است.

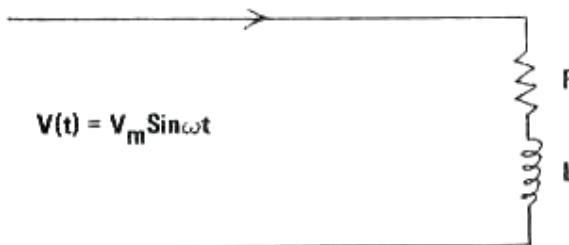


شکل ۲-۳ : یک مدار برقی ساده

منبع تغذیه تک فاز معمول متناوب با تغییرات سینوسی است که دامنه آن $\sqrt{2} \times 220$ ولت و مقدار موثر آن ۲۲۰ ولت است. جریان مدار مشابه میزان آبی است که در هر ثانیه از لوله آب می گذرد. در صورتی که در یک ثانیه یک کولمب بار الکتریکی از مقطع سیم مدار عبور کند جریان برابر یک آمپر است. انرژی الکتریکی بر حسب ژول اندازه گیری می شود که با توجه به تعریف ولت برابر ولت کولمب می باشد واحد توان الکتریکی وات است که برابر ژول بر ثانیه است. بنابر این ژول برابر وات ثانیه است که واحد کوچکی است و در عمل از واحد بزرگتری که کیلو وات ساعت است استفاده می شود.

۳-۲ جریان و توان در مدارهای تک فاز

بارهای الکتریکی معمولاً از دو جزء مقاومت و خود القاء تشکیل می شوند. بعضی از بارها نظیر لامپهای التهابی از مقاومت تشکیل شده و بعضی از مقاومت تشكیل شده و بعضی دیگر مانند لامپهای مهتابی و موتورهای تک فاز برقی شامل مقاومت و خود القاء می باشند. بارهای الکتریکی به ندرت شامل خازن هستند و به طوری که خواهیم دید خازنها برای اصلاح ضریب توان بارها مورد استفاده قرار می گیرند. برای متشکل از ترکیب متوالی یک مقاومت R اهم و خود القای L هنری را مطابق شکل ۴-۲ در نظر بگیرید. ولتاژ منبع تغذیع متناوب با تغییرات سینوسی با دامنه V_m و فرکانس زاویه ای ω است.



شکل ۲ - ۴ : مداری شامل مقاومت و خود القاء متصل به منبع تغذیه

ولتاژ منبع تغذیه برابر مجموع ولتاژ دو سر مقاومت و ولتاژ دو سر خود القاء است. بر اساس قانون اهم ولتاژ دو سر مقاومت با جریان آن مقدار مقاومت متناسب است. همچنین آزمایش نشان می دهد که ولتاژ دو سر خود القاء با ضریب خود القایی و مشتق جریان نسبت به زمان متناسب است. بنابراین:

$$V_m \sin \omega t = Ri + L \frac{di}{dt}$$

پس از حل معادله دیفرانسیل بالا معادله جریان از این قرار می شود:

$$i(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \Phi) + \frac{V_m}{Z} \sin \Phi e^{-t/LR} \quad (1-2)$$

جمله دوم که با گذشت زمان کاهش می یابد قسمت گذاری جریان است مورد توجه ما نیست. جمله اول قسمت ماندگار است که شکل سینوسی دارد. دامنه جریان برابر است با:

$$I_m = \frac{V_m}{Z} \quad (2-2)$$

در معادلات بالا Z امپدانس یا مقاومت ظاهری مدار است و به صورت زیر می باشد:

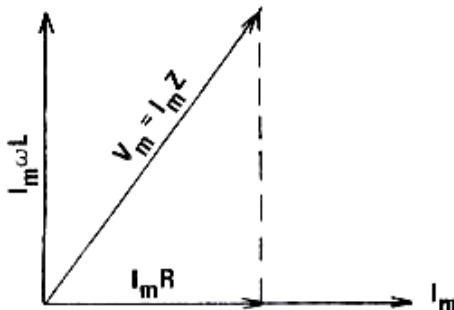
$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (3-2)$$

و زاویه تأخیر جریان مدار نسبت به ولتاژ است و تانژانت زاویه از این قرار است:

$$\tan \Phi = \frac{\omega L}{2} \quad (4-2)$$

در صورتی که L را برابر صفر انتخاب کنیم Z برابر R و \emptyset برابر \emptyset بود و هیچگونه اختلاف فازی بین ولتاژ و جریان وجود نمی‌آیند. در صورتی که R را برابر صفر اختیار کنیم Z برابر L و \emptyset برابر 90° درجه می‌شود که به این معنی است اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان برابر 90° درجه است. بنابراین در حالت کلی زویه \emptyset بین صفر و 90° درجه تغییر است.

رابطه ولتاژ و جریان را به صورت تصویری بر حسب فیزورها می‌توان نشان داد. در صورتی که جریان را به صورت فیزور مبنای محور افقی انتخاب کنیم ولتاژ دو سر مقاومت هم فاز با جریان و ولتاژ دو سر خود القاء نسبت به جریان 90° درجه تقدم فاز خواهد داشت. مجموع برداری دو ولتاژ برابر ولتاژ منبع تغذیه می‌شود. این تصویر فیزوری در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.



شکل ۲ - ۵: نمایش فیزوری روابط مدار شکل ۲ - ۴

در صورتی که در شکل ۲-۴ به جای خود القاء از خازنی به ظرفیت C فاراد استفاده می‌شد امپدانس خازن برابر $\frac{1}{c\omega}$ می‌شود و جریان نسبت به ولتاژ تقدم فاز پیدا می‌کرد. چون بارهای شامل خازن در عمل زیاد دیده نمی‌شوند این بحث را بیش از این در اینجا دنبال نمی‌کنیم و در فصل سوم که از خازنهای برای بهبود ضریب قدرت مدارها استفاده می‌کنیم مدار شامل خازن را مطالعه خواهیم کرد.

برای محاسبه توان لحظه‌ای مدار شکل ۲-۴ ولتاژ رادر جریان ضرب می‌کنیم.

$$W(t) = \frac{V_m^2}{Z} \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \Phi)$$

با بسط جمله بالا چنین می‌نویسیم:

$$W(t) = \frac{V_m^2}{2Z} [\cos \Phi + \cos(2\omega t - \Phi)]$$

ملاحظه می‌کنید که توان لحظه‌ای دارای یک مقدار ثابت و یک جمله با فرکانس 2ω است پس توان لحظه‌ای در یک سیستم تک فاز ضربه‌ای است.

برای محاسبه توان متوسط، توان لحظه‌ای را روی یک دوره تناوب کامل انتگرال می‌گیریم و حاصل را بر دوره تناوب تقسیم می‌کنیم.

$$W_{av} = \frac{1}{2\pi/\omega} \int_0^{2\pi/\omega} \frac{V_m^2}{Z} \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \Phi) dt$$

$$W_{av} = \frac{V_m^2}{2Z} \cos \Phi$$

و یا

$$W_{av} = \frac{V_m I_m}{2} \cos \Phi \quad (5-2)$$

و یا بر حسب ولتاژ و جریان مؤثر که $\sqrt{2}$ برابر از مقادیر ماکزیمم مربوط کوچکتر هستند چنین می‌نویسیم:

$$W_{av} = V_e I_e \cdot \cos \Phi \quad (6-2)$$

ملاحظه می کنید توان مصرفی تابع ضریب توان مدار می باشد. در صورتی که بار مقاومت خالص باشد ضریب توان برابر یک است و در صورتی که بار خود القاء خالص باشد ضریب توان صفر می شود و مشخص کننده این حقیقت است که یک خود القای خالص توان مصرف نمی کند و تنها در نیمی از سیکل انرژی می گیرد و در میدان مغناطیسی اطراف خود ذخیره می کند و در نیم سیکل بعد از آن را به منبع تغذیه پس می دهد.

معادله (۶-۲) نکته مهمی را نشان می دهد. علی رغم تغییرات سینوسی ولتاژ و جریان با زمان در مدارهای برق متناوب برای محاسبه توان متوسط تنها مقادیر موثر ولتاژ و جریان لازم می شود و از این نظر خیلی شبیه محاسبات جریانهای برق مستقیم می باشد و تنها اختلاف این دو در وجود ضریب توان $\cos\Phi$ می باشد.

رابطه (۲-۲) برای ولتاژ و جریان موثر به صورت زیر در می آید:

$$I_e = \frac{V_e}{Z} \quad (7-2)$$

چون در غالب محاسبات مهندسی با مقادیر موثر و توان متوسط سرو کار داریم و چون خطر بروز اشتباه وجود ندارد از این به بعد از ذکر کلیات موثر و متوسط خودداری می کنیم.

۱-۲ مثال

سیم پیچی دارای مقاومت ۸ اهم و ضریب خود القایی 0.03 هنری است و به برق معمولی (ولتاژ موثر 220 ولت با فرکانس 50 سیکل) متصل است. جریان و توان سیم پیچ را محاسبه کنید.

$$Z = \sqrt{(8)^2 + (2\pi \times 50 \times 0.03)^2} = 12.36$$

با استفاده از معادله (۷-۲)

$$I_e = \frac{220}{21.36} = 17.80$$

با استفاده از معادله (۴-۲)

$$\tan \Phi = \frac{2\pi \times 50 \times 0.03}{8} = 1.18$$

$$\Phi = 49.67$$

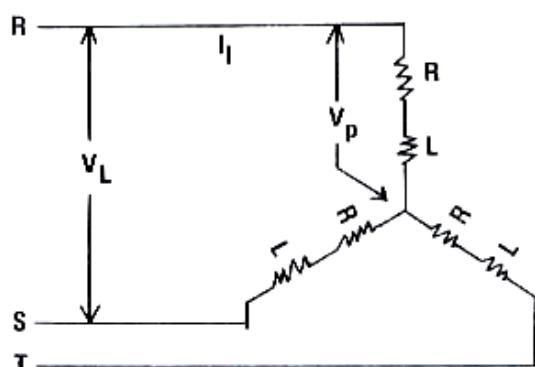
با استفاده از معادله (۶-۲)

$$W = 220 \times 17.80 \times \cos(49.67) = 2534.16$$

۴-۲- جریان و توان در مدارهای سه فاز

بیشتر بارهای صنعتی سه فاز هستند و از برق سه فاز تغذیه می شوند و از این نظر متعادل نامیده می شوند که امپدانس هر سه

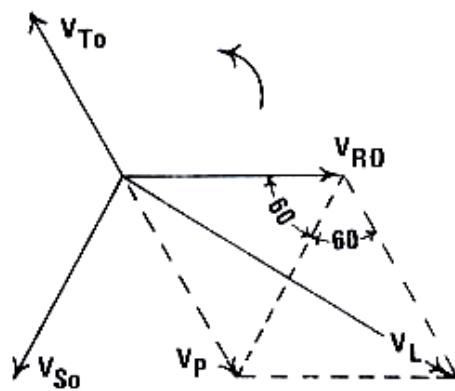
فاز یکسان است. در غالب بارهای صنعتی امپدانس معادل هر فاز ترکیبی از مقاومت و خود القاء می باشد. در شبکه های توزیع سه فاز و ولتاژ هر یک از فازها نسبت به نوتراول 220 ولت است لیکن این ولتاژها نسبت به یکدیگر 120 درجه اختلاف فاز دارند. ولتاژ بین هر دو فاز هم 380 ولت است لیکن این ولتاژها نسبت به یکدیگر 120 درجه اختلاف فاز پیدا می کنند. اتصال بارهای الکتریکی سه فاز به دو صورت ستاره و مثلث انجام می شود. اتصال ستاره در شکل ۶-۲ نشان داده شده است. در این اتصال امپدانس های سه فاز را در یک



شکل ۶-۲: اتصال بار به صورت ستاره

نقطه به هم متصل می کنیم و سه خط شبکه توزیع را به سر باقیمانده متصل می کنیم.

ولتاژ بین دو خط شبکه را ولتاژ خط V_L و جریان خط را I_L می نامیم. ولتاژ هر فاز را با v_p ، جریان هر فاز را با I_p نشان می دهیم. از شکل روشن است که در این اتصال جریانی که از یک خط می گذرد وارد یک فاز بار می شود و لذا جریان فاز با جریان خط برابر است. بر عکس چون دو فاز به سر V متصل است ولتاژ فاز را با ولتاژ خط برابر نیست. اگر سهواً اختلاف فاز بین ولتاژ فازهای مختلف را ندیده بگیریم ممکن است بگوییم که ولتاژ فاز نصف ولتاژ خط است که البته درست نیست. برای محاسبه رابطه بین و بایستی اختلاف فازها را در نظر گرفت و با این منظور آنها را بصورت بردار (یا اصطلاحاً فیزور) مطابق ۷-۲ در نظر می گیریم.



شکل ۲ - ۷: نمایش فیزوری رابطه ولتاژهای خط و فاز در اتصال ستاره

سه ولتاژ فاز را با سه بردار به مقدار 120° درجه نسبت به یکدیگر ترسیم کرده ایم. ولتاژ بین هر دو خط را که با نشان می دهیم می توان با تفربیق برداری ولتاژ دو فاز مربوط محاسبه کرد. برای این کار ولتاژ فاز اول را با منفی ولتاژ فاز دوم مطابق شکل جمع می کنیم. در مثلثهای قائم الزاویه نشان داده شده در شکل، رابطه مثلثاتی زیر برقرار است.

$$\frac{V_L / 2}{V_p} = \cos(30) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

و یا

$$V_L = \sqrt{3} V_p$$

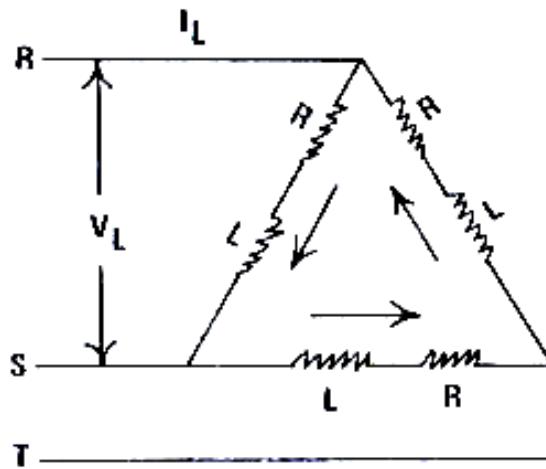
بنابر این در اتصال ستاره روابط بین ولتاژ و جریان خط با مقادیر مربوط فاز به این قرار است:

$$V_L = \sqrt{3} V_p = 1.73 V_p \quad (8-2)$$

$$I_L = I_p \quad (9-2)$$

در شکل (۸-۲) بار با اتصال مثلث نشان داده است و برای تغذیه آن سه خط مدار را به رئوس آن متصل می کنیم.





شکل ۲ - ۸: اتصال بار به صورت مثلث

روشن است که در اتصال هر فاز بار برابر سر ولتاژ متصل است و لذا فاز با ولتاژ خط برابر تفاضل برداری جریان دوفاز می باشد. به همان ترتیبی که برای ولتاژ ها در اتصال ستاره نشان داده ایم می توان به سهولت نشان داد که در اتصال مثلث جریان خط برابر جریان فاز است. بنابراین در اتصال مثلث روابط بین ولتاژ و جریان خط با مقادیر مربوط فاز به این قرار است.

$$V_L = V_p \quad (10-2)$$

$$I_L = \sqrt{3} I_p \quad (11-2)$$

توان موثر یک بار سه فاز متعادل بدون توجه به نحوه اتصال آن برابر توان یکی از فازهای آن است. بنابراین با استفاده از رابطه (۶-۲) توان سه فاز را بصورت زیر می نویسیم:

$$W = 3V_p I_p \cos \Phi$$

با توجه به روابط (۲-۸) و (۲-۹) و (۱۰-۲) و (۱۱-۲) ملاحظه می کنید که در هر مورد هر دو اتصال بر حسب و جریان خط به صورت زیر در می آید:

$$W = \sqrt{3} V_L I_L \cos \Phi$$

توجه داشته باشید که در رابطه بالا $\cos \phi$ ضریب توان هر یک از فازها می باشد. اگر بارهای سه فاز متعادل نباشند و یا شبکه نامتعادل باشد باید توان فازها را به طور جداگانه محاسبه و جمع کرد و استفاده از معادله (۱۲-۲) جایز نیست.

مثال ۲-۲

هر فاز یک بار سه فاز متعادل از ترکیب متواالی یک مقاومت ۵۰ اهمی و یک خود القاء 0.3 H نماینده شده است. شبکه دارای ولتاژ خط 380 Volt و فرکانس 50 Hz می باشد.

الف - جریان خط و توان بار را برای اتصال ستاره به دست آورید.

ب - جریان خط و توان بار را برای اتصال مثلث محاسبه کنید.

امپدانس هر فاز با استفاده از رابطه (۱-۳) چنین است:

$$X = \sqrt{(50)^2 + (2\pi \times 50 \times 0.3)^2} = 106.69$$

ضریب قدرت را با استفاده از رابطه (۱-۴) به دست می آوریم

$$\tan \Phi = \frac{2\pi \times 50 \times 0.3}{50} = 1.88$$

$$\Phi = 62.5$$

$$\cos \Phi = 0.47$$

الف - اتصال ستاره

با استفاده از (۸-۲)

$$V_p \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.39 \approx 220$$

با استفاده از (۷-۲) جریان یک فاز چنین است:

$$I_p = \frac{220}{106.69} = 2.06$$

با استفاده از رابطه (۱۲-۲) و با توجه به اینکه جریان خط با جریان فاز برابر است

$$W = \sqrt{3} \times 380 \times 2.06 \times 0.47 = 637.25$$

ب - اتصال مثلث

با توجه به اینکه ولتاژ فاز برابر ولتاژ خط است با استفاده (۷-۲) جریان فاز از این قرار است:

$$I_p = \frac{380}{106.69} = 3.56$$

با استفاده از (۱۱-۲) جریان خط از این قرار است

$$I_L = \sqrt{3} \times 3.56 = 6.17$$

با استفاده از (۱۲-۲) توان بار چنین است:

$$I_L = \sqrt{3} \times 3.56 = 10.68$$

$$W = \sqrt{3} \times 380 \times 6.17 \times 0.47 = 1908.65$$

توان لحظه ای یک بار سه فاز متعادل هم قابل بررسی است. اگر دامنه ولتاژ هز فاز و امپدانس هر فاز Z با زاویه θ باشد، توان لحظه ای سیستم سه فاز را با جمع کردن توان لحظهای فازها به صورت زیر بدست می آوریم:

$$W_{(t)} = \frac{V_m^2}{Z} \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \Phi) + \frac{V_m^2}{Z} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \Phi) + \frac{V_m^2}{Z} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3} - \Phi)$$

با بسط جملات نتیجه می گیریم که :

$$W(t) = \frac{V_m^2}{2Z} \left[\cos \Phi + \cos(2\omega t - \Phi) + \cos \Phi + \cos \left(2\omega t - \frac{4\pi}{3} - \Phi \right) + \cos \Phi + \cos \left(2\omega t - \frac{8\pi}{3} - \Phi \right) \right]$$

مجموع سه جمله سینوسی که نسبت به هم $\frac{2\pi}{3}$ رادیان اختلاف فاز دارند صفر است و لذا :

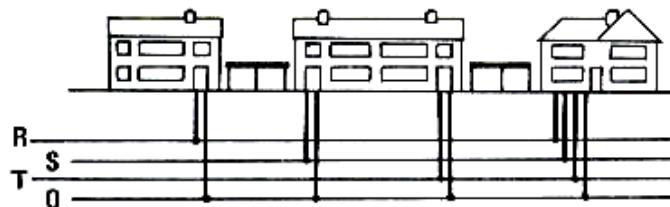
$$W(t) = \frac{V_m^2}{2Z} (3 \cos \Phi) = 3V_e I_e \cos \Phi$$

بنابراین توان لحظه ای در یک مصرف کننده سه فار مقدار ثابتی دارد و ضربه ای نیست .

۲-۵- شبکه های برق رسانی

توزیع برق از ثانویه ترانسفورماتور به وسیله خطوط هوایی یا کابلهای زیر زمین انجام می شود. در نقاط کم جمعیت به علل اقتصادی خطوط هوایی مورد استفاده قرار می گیرند لیکن در نقاط پر جمعیت به علل زیبایی و ایمنی از کابلهای زیر زمین برای

تغذیه بارهای صنعتی و خانه های مسکونی استفاده می شود. توزیع زیر زمین در حدود ۵ برابر توزیع هوایی هزینه بر می دارد. در شکل ۹-۲ برق رسانی به چهار خانه مسکونی نشان داده شده است.



شکل ۹-۲: برق رسانی به چهار خانه مسکونی

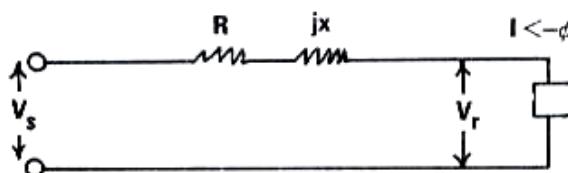
به طوری که ملاحظه می کنید سه خانه اول از برق تک فاز استفاده می کنند و هر کدام از یکی از فازها تغذیه می شوند. این عمل به منظور متعادل کردن با روی خط توزیع و در نتیجه با روی ترانسفورماتور انجام می شود. خانه چهارم که دارای احتیاجات الکتریکی بیشتر است از برق سه فاز تغذیه شده است. در صورتی که مصرف مشترکی از حدود ۱۰ کیلو وات بیشتر باشد. معمولاً برق سه فاز به مشترک داده می شود و این عمل نیز به منظور متعادل کردن بار (تساوی بار فازهای مختلف) ترانسفورماتور انجام می شود. اگر مشترک بار سه فاز مثل موتور شوفاژ سه فاز داشته باشد استفاده از این برق سه فاز الزامی است. در صورتی که مشترک هیچگونه بار سه فازی در خانه نداشته باشد بارهای تک فاز خود را به طور تقریباً برابر بین فازهای مختلف تقسیم می کند. بار الکتریکی خانه های مسکونی امروزی دائماً در حال افزایش است و لذا بیشتر خانه های نسبتاً بزرگ نوسان از برق سه فاز استفاده می کنند.

به طوری که گفته شد مشترکینی که دارای مصرف زیاد هستند به جای استفاده از شبکه توزیع ولتاژ ضعیف شهری ، برق در ولتاژ قوی (۱۱ هزار یا ۲۰ هزار ولت) خریداری می کنند و در پست خصوصی خود ولتاژ را کاهش می دهند.

در تغذیه بارهای کم اهمیت که قطع موقت برق برای آنها اشکال زیاد تولید نمی کند، به علل اقتصادی از شبکه های شعاعی که تنها از یک طرف تغذیه می شوند استفاده می شود. در این موارد هرگونه خطا در خط موجب قطع برق می شود. بارهای مهمتر که در آنها قطع موقت برق حتی به مدت کوتاه قابل تحمل نیست از شبکه های حلقه ای تغذیه می شوند. در این موارد در صورت وقوع خطا در یک قسمت شبکه مب توان قسمت معیوب را قطع کرد و بارها را از یک طرف تغذیه کرد. محاسبات افت ولتاژ در شبکه ها به سهولت قابل انجام است و در قسمتهای زیر تشریح می شود.

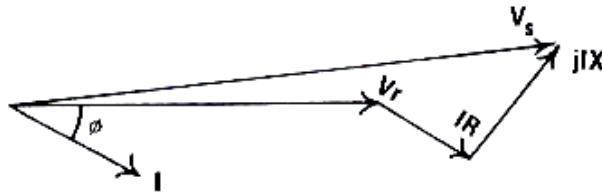
۱-۵-۲- محاسبات شبکه های شعاعی

شبکه شعاعی تک فازی مطابق شکل (۱۰-۲) را در نظر بگیرید که دارای مقاومت کل R و راکتانس کل X اهم است. ولتاژ در ابتدای خط V_s و در سرباز V_r است. بار جریان I با ضریب توان تاخیری ϕ می کشد.



شکل ۱۰-۲: شبکه تغذیه تک فاز

اگر را به عنوان فیزور مبنا اختیار کنیم، شکل فیزوری روابط مدار مطابق شکل ۱۱-۲ می شود.



شکل ۲ - ۱۱ : شکل فیزوری شبکه شکل ۲ - ۱۰

با توجه به این شکل رابطه چنین است :

$$V_s = V_r + IR + jIX \quad (13-2)$$

برای پیدا کردن یک رابطه تقریبی بین مولفه افقی و قائم را به طور جداگانه به ترتیب به صورت زیر حساب می کنیم:

$$V_{s,h} = |V_r| + |I|R \cos \Phi + |I|X \sin \Phi$$

$$V_{s,v} = |I|R \sin \Phi + |I|X \cos \Phi$$

اگر از مولفه های قائم که نسبت به مولفه افقی خیلی کوچک است صرفنظر کنیم رابطه تقریبی زیر حاصل می شود.

$$|V_s| = |V_r| + |I|R \cos \Phi + |I|X \sin \Phi \quad (14-2)$$

معادله تقریبی (14-2) حل مسائل مشکل را آسان می کند و جوابهای قابل قبولی به دست می دهد و در بسیاری موارد استفاده از معادله دقیق (13-2) ضرورت ندارد.

۳-۲ مثال

شبکه های تک فازی به مقاومت $4/0$ اهم و راکتانس $15/0$ اهم را در نظر بگیرید که یک بار 50 آمپری با ضریب $8/0$ تاخیری را تغذیه می کند. اگر ولتاژ سریاز 220 ولت باشد، مقدار عددی ولتاژ سر شبکه را با استفاده از روابط دقیق و تقریبی محاسبه و مقایسه کنید.

با استفاده از (13-2) داریم:

$$V_s = 220 + 50(0.8 - j0.6)(0.4 + j0.15) = 220 + [50 < -36.87^\circ][0.427 < 20.56]$$

$$240.49 - j6 = 240.56 < -1.43^\circ$$

$$|V_s| = 240.56$$

با استفاده از (14-2) داریم :

$$V_s = 220 + 50 \times 0.4 \times 0.8 + 50 \times 0.15 \times 0.6$$

$$= 240.50$$

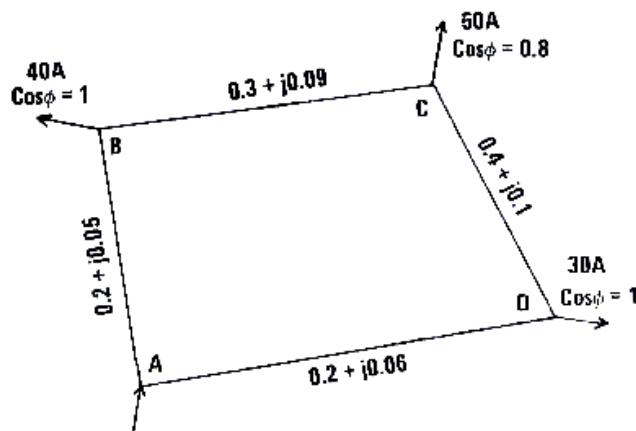
به طوری که ملاحظه می کنید اختلاف این دو ناچیز است.

برای شبکه های سه فاز شعاعی به همین ترتیب محاسبات را برای یک فاز انجام می دهیم.

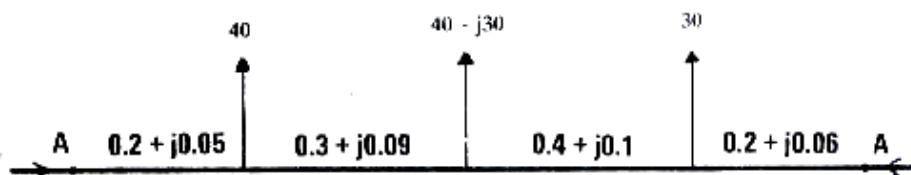
۲-۵-۲ محاسبات شبکه های حلقه ای

یک شبکه تک فاز حلقه ای مطابق شکل (12-2) را در نظر بگیرید که در نقطه A توسط منبعی به ولتاژ 220 ولت تغذیه می شود و امپدانس خطوط و جریان بارها به صورت زیر نشان داده شده اند و منظور محاسبه جریانهای در شبکه و ولتاژ در سر بارهاست.

این گونه شبکه ها به شیوه های مختلف می توان حل کرد که شاید ساده ترین آن باز کردن شبکه در نقطه و نمایش آن به صورت شکل (13-2) باشد.



شکل ۱۲-۲ : شبکه تکفارز حلقه ای



شکل ۱۲-۳ : نمایش دیگری از شبکه حلقه ای شکل ۱۲-۲

اگر جریانی که از سمت چپ وارد شبکه می شود را X فرض کنیم، با توجه به اینکه دو نقطه A در سمت چپ مدار دارای ولتاژ برابر هستند رابطه زیر برقرار است:

$$\begin{aligned} X(0.2 + j0.05) + (X - 40)(0.3 + j0.09) + (X - 40 - 40 + j30) \\ (0.4 + j0.1) + (X - 40 - 40 + j30 - 30)(0.2 + j0.06) = 0 \end{aligned}$$

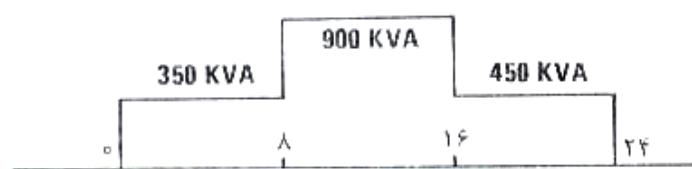
پس از حل معادله نتیجه می گیریم :

با دانستن این جریان، جریان همه قسمتهای شبکه معین و ولتاژ سر هر بار به سهولت قابل محاسبه است.

روش دیگر حل این مداراين است که قسمتی از شبکه شکل (۱۲-۲) برای مثال قسمت CD را باز کنیم و مدار معادل تونین شبکه را معین کنیم و سپس جریان در خط CD را محاسبه نماییم و آنگاه همه جریانها معلوم خواهد بود. حل شبکه از این طریق به عنوان تمرین به خوانندگان واگذار می کنیم.

مسائل فصل دوم

۱- وضعیت بار یک کارخانه در ساعات مختلف روز به صورت زیر است:



کارخانه برق ۲۰ کیلو ولت از شرکت برق منطقه ای خریداری می کند و دارای پست خصوصی است. چند مبدل و با چه ظرفیت برای پست توصیه می کنید.

۲- در آلتريناتور خصوصی کارخانه ای با فرکانس ۵۰ هرتز، ولتاژ فاز تولیدی بدون بار به قرار زیر است:

$$v(t) = 220 \sin \omega t + 11 \sin 3\omega t + 3.67 \sin 5\omega t$$

الف : معادله ولتاژ خط و مقدار موثر آن را برای اتصال آلتريناتور به صورت ستاره و مثلث به دست آورید.

ب- جریان آلتريناتور در حالت بی بار برای دو نوع اتصال چقدر است؟ راکتانس سنکرون هر فاز در فرکانس ۵۰ هرتز ۵ اهم در فاز و مقاومت آن قابل صرف نظر است.

پ- مزایای اتصال ستاره کدامند.

۳- در یکم آلتريناتور با اتصال ستاره ولتاژ یک فاز نسبت به نوترال چنین است:

$$v(t) = \sqrt{2}[300 \sin 100\pi t + 150 \sin 300\pi t + 100 \sin 500t]$$

آلتريناتور به باری به صورت ستاره که امپدانس هر فاز آن متشکل از مقاومت ۲۰ اهم و خود القای ۰/۰۴ هنری به صورت متواالی است متصل است. امپدانس داخلی آلتريناتور قابل صرف نظر است.

الف- اگر نقطه نوترال آلتريناتور به نوترال بار متصل نباشد، ولتاژ خط، جریان خط و ضریب توان آلتريناتور را حساب کنید.

ب- اگر نقطه نوترال آلتريناتور به نوترال بار متصل نباشد، چه جریانی در سیم نوترال برقرار می شود؟

۴- بار الکتریکی کارخانه ای از دو خط ۳۸۰ ولت تغذیه می شود. خط اول جریان متعادل ۲۰۰ آمپر با ضریب توان ۹/۰ تاخیری و خط دیگر جریان متعادل ۱۰۰ آمپر با ضریب توان ۷۵/۰ تاخیری دارد. توان ظاهری، توان حقیقی و توان غیر حقیقی کارخانه چقدر است؟

۵- توان لحظه ای در یک سیستم دو فاز متعادل را به دست آورید.

الف - آیا امتیاز سیستم متعادل سه فاز در اینجا هم وجود دارد؟

ب- به نظر شما چرا سیستم سه فاز بسیار معمول و سیستم دو فاز نامعمول است؟

۶- در تابلو مشخصات موتور القایی سه فازی و ولتاژ ۳۸۰ ولت برای اتصال ستاره و ۲۲۰ ولت برای اتصال مثلث قید شده است.

الف- در استفاده از این موتور در ایران چه نوع اتصالی الزامی است.

ب- آیا می توان این موتور را به اندازه ستاره - مثلث مجهز نمود؟



POWEREN.IR

فصل سوم

اصلاح یا تصحیح ضریب توان و تعریفه های برقی

در این فصل لزوم اصلاح ضریب قدرت و استفاده از خازن برای بهبود آن به منظور کاهش دادن هزینه های برق مصرفی در رابطه با تعریفه های موجود را مورد بررسی قرار می دهیم.

۱-۳- لزوم اصلاح ضریب توان

ظرفیت آلترناتورها، ترانسفورماتورها و وسایل برق رسانی توسط تلفات حرارتی آنها که تنها تابع مقدار جریان است و بستگی به ضریب توان ندارد تعیین می شود. به طوری که در فصل قبل دیده ایم توان مصرفی بارهای الکتریکی بستگی به ضریب توان آنها دارد و بنابراین برای استفاده موثر از ظرفیت باشد. برای روشن کردن این حقیقت به ذکر مثالی مبادرت می کنیم.

مثال ۱-۳

یک مولد تک فاز کوچک به ولتاژ ۲۲۰ ولت و جریان ۱۰ آمپر (۲/۲ کیلو وات آمپر) ۵۰ سیکل باری به امپدانس ۲۲ اهم را تعذیه می کند. توان خروجی مولد یا توان بار را برای ضرایب توان یک، نیم تاخیری و صفر تاخیری محاسبه کنید.
برای بار با ضریب قدرت یک (مقاومت خالص)

$$I = \frac{220}{22} = 10$$

$$W = 220 \times 10 \times 1 = 2200$$

برای بار با ضریب توان نیم تاخیری (مقاومت و خود القاء)

$$I = \frac{220}{22} = 10$$

$$W = 220 \times 10 \times 0.5 = 1100$$

برای بار با ضریب توان صفر تاخیری (خود القای خالص)

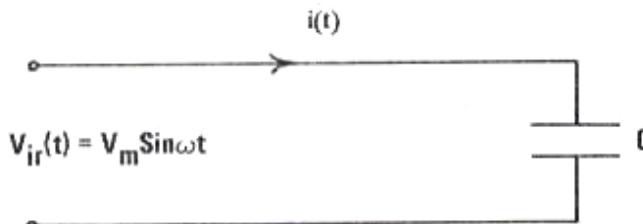
$$I = \frac{220}{22} = 10$$

$$W = 220 \times 10 \times 0 = 0$$

به طوری که ملاحظه می‌کنید با اینکه در هر سه حالت از جریان مجاز مولد استفاده می‌شود و افزایش جریان بیش از این مقدار سبب سوختن مولد می‌گردد تنها در حالت اول یعنی بار مقاومت خالص از کل توان مولد استفاده می‌شود. در حالت دوم تنها از نصف توان مولد استفاده می‌شود و در حالت سوم یعنی بار خود القای خالص ابداً از توان مولد استفاده نمی‌شود. بارهای داری ضریب قدرت کوچک با اینکه جریان می‌گیرند و ظرفیت مولدها، ترانسفورماتورها و خطوط توزیع را اشغال می‌کنند حداکثر توان ممکنه را جذب نمی‌کنند و بهای برق مصرفی ماهیانه آنها نیز بالطبع کم خواهد بود. شرکتهای برق منطقه‌ای این گونه مشترکان را مجبور به اصلاح ضریب توان خود می‌کنند و در غیر اینصورت برای آنان جرائمی وضع می‌نمایند. لامپهای فلورسنت موتورهای القایی بخصوص با ابر کم و ماشینهای جوشکاری، ترکیبی از مقاومت و خود القاء هستند و ضریب قدرت کوچک دارند و برای اصلاح آنها می‌توان از خازن استفاده کرد.

۲-۳- جریان در خازن متصل به مدار برق متناوب

برای تعیین جریان خازن در مدار برق متناوب خازنی به ظرفیت C فاراد را متصل به منبع تغذیه با ولتاژ سینوسی مطابق ۱-۳ در نظر بگیرید.



شکل ۳ - ۱ : خازن متصل به منبع تغذیه با ولتاژ سینوسی

ولتاژ دو سر خازن پیوسته و انتگرال جریان نسبت مستقیم و با ظرفیت خازن C نسبت معکوس دارد.

$$V_m \sin \omega t = \frac{1}{C} \int idt$$

پس از حل معادله بالا جریان به صورت زیر در می‌آید:

$$i(t) = V_m C \omega \sin(\omega t + 90^\circ)$$

ملاحظه می‌کنید که جریان نسبت به ولتاژ 90° درجه تقدم فاز دارد و لذا ظرفیت توان آن صفر است و خازن مثل خود القای خالص هیچگونه توان حقیقی از منبع تغذیه دریافت نمی‌کند. با توجه به معادله بالا رابطه جریان، ولتاژ و امپدانس یا راکتانس در مدار خازن از این قرار است

$$X_C = \frac{V_m}{I_m} = \frac{V_e}{I_e} = \frac{1}{C\omega} \quad (1-3)$$

بنابراین خازن امپدانس یا راکتانسی برابر $\frac{1}{C\omega}$ از خود نشان می‌دهد.

۳-۳- تصحیح ضریب توان با استفاده از خازن

به طوری که در بالا دیدیم خازن جریانی از مدار می‌گیرد که برخلاف خود القاء نسبت به ولتاژ تقدم فاز دارد. لذا با نصب خازن موازی با بار می‌توان مولفه جریان آن را نسبت به ولتاژ 90° درجه تاخیر فاز دارد خنثی نمود و به این ترتیب ضریب توان را به یک رساند و یا با حذف قسمتی از آن ضریب توان را به میزان دلخواه بهبود می‌بخشد. محاسبات لازم را با حل مثالی روش می‌کنیم.

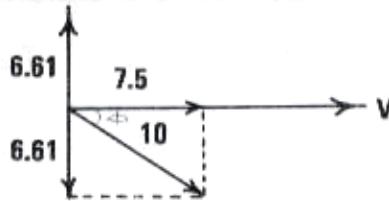
مثال ۲-۳

بار تک فازی را به امپدانس 22Ω با ضریب توان 0.75 به شبکه توزیع 20V ولت 50Siemens متصل است. ظرفیت خازنی را که ضریب توان را به یک افزایش می‌دهد حساب کنید.

$$I = \frac{220}{22} = 10$$

$$\cos \Phi = 0.75 \Rightarrow \Phi = 41.41^\circ$$

رابطه فیزوری ولتاژ و جریان به صورت زیر است:



جریان داری دو مولفه است. مولفه هم فاز با ولتاژ 7.5 آمپر و مولفه عمود بر ولتاژ 6.61 آمپر است. برای افزایش ضریب توان به یک لازن است مولفه عمود بر ولتاژ را با استفاده از خازن مناسب حذف کنیم.

$$\frac{1}{C\omega} = \frac{220}{6.61} = 33.26 \quad (1-3)$$

$$C\omega = 0.03007$$

$$C = 9.57 \times 10^5 \text{ farad} = 95\mu\text{F}$$

برای اصلاح ضریب قدرت در وجود بارهای سه فاز از سه خازن که معمولاً به صورت مثلث متصل می‌شوند استفاده می‌کنیم.

مثال ۳-۳

بار سه فازی از منبع 380V ولت 50Siemens با ضریب توان 0.75 تاخیری اخذ می‌کند. به منظور افزایش ضریب توان به 0.9 تاخیری از سه خازن برابر که به صورت مثلث متصل هستند استفاده می‌کنیم. ظرفیت هر خازن چقدر باید انتخاب شود؟ توان حقيقی و راکتیو بار به ترتیب از این قرارند:

$$60 \times \cos \Phi = 60 \times 0.75 = 45 \text{ KW}$$

$$60 \times \sin \Phi = 60 \times 0.66 = 39.6 \text{ KW}$$

ضریب قدرت بهبود یافته برابر 0.9 است بنابراین:

$$\cos \Phi = 0.9$$

$$\Phi = 25.84^\circ$$

در صورتی که توان راکتیو را با X نشان دهیم رابطه زیر برقرار می‌شود:

$$\frac{39.6 - X}{45} = \tan 25.84^\circ$$

$$X = 17.9 \text{ KVA}$$

بنابراین جریان خط مدار خازن به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$17.9 \times 1000 = \sqrt{3} \times 380 \times I_L$$

$$I_L = 27.19$$

بنابراین جریان فاز از این قرار است:

$$I_P = \frac{27.19}{\sqrt{3}} = 15.7$$

لذا امپدانس هر خازن چنین است:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times C} = \frac{380}{15.7}$$

$$C = 1.315 \times 10^4 \text{ farad} = 131 \mu\text{F}$$

۴-۳- تعریفه های برقی

هزینه برق مصرفی مشترکان را تعریفه ها با نرخ بندی های برقی معین می کنند که انواع مختلف دارند. دو نوع تعریفه معروف به تعریفه یک قسمتی و دو قسمتی در ایران معمول می باشند که در زیر تشریح می شوند.

۴-۳-۱- تعریفه یک قسمتی

در این تعریفه که ساده ترین تعریفه موجود در ایران است مشترک بدون توجه به ضریب قدرت برای هر کیلو وات ساعت مصرفی مبلغ معینی پرداخت می کند. در برخی کشورهای صنعتی برای تشویق مشترکان به مصرف بیشتر نرخهای ثابت مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد؛ به این معنی که برای ۱۰۰ کیلو وات ساعت اول نرخ بالاتر و برای ۱۰۰ کیلو وات دوم نرخ کمتری منظور می شود. گاهی هم در هنگام شب که مصرف پایین می آید برای تشویق مصرف کنندگان نرخ کمتری منظور می نمایند. البته اعمال این روشها مستلزم داشتن کنتورهای مخصوص می باشد. محاسبه هزینه ماهیانه برق براساس نرخ ثابت به سهولت قابل انجام است به این معنی که میزان مصرف انرژی را در ماه محاسبه کرده و در نرخ ثابت ضرب می کنیم. این روش در مثال زیر روشن شده است.

مثال ۴-۳

یک خانه مسکونی دارای بارهای زیر است. هزینه ماهیانه برق آن از قرار کیلو وات ساعتی ۵ ریال چقدر است؟

۱- ۱۰ لامپ ۱۰۰ واتی که هر یک به طور متوسط ۲ ساعت در شبانه روز داشتن است.

۲- یخچال و یخزن به قدرت ۱ کیلو وات که با توجه به قطع و وصل اتوماتیک به طور متوسط ۱۰ ساعت در شبانه روز کار می کند.

۳- ماشین لباسشویی به قدرت ۲ کیلو وات که هر دو روز یک بار به مدت ۲ ساعت کار می کند.

صرف ماهیانه لامپها به کیلو وات ساعت برابر است با :

$$\frac{10 \times 100 \times 2 \times 30}{1000} = 60$$

صرف ماهیانه یخچال و یخزن به کیلو وات ساعت برابر است با :

$$1 \times 10 \times 30 = 300$$

صرف ماهیانه ماشین لباسشویی به کیلو وات ساعت برابر است با :

$$2 \times 2 \times \frac{30}{2} = 60$$

بنابراین هزینه ماهیانه مشترک چنین است:

$$5 \times (60 + 300 + 60) = 2100$$

۴-۳-۲- تعریفه دو قسمتی

بدون شک از نظر شرکت برق منطقه ای، مشترکی که در تمام ساعات شبانه روز مصرف یکنواختی داشته باشد از مصرف کننده ای که فقط در ساعتی که بار شبکه زیاد است دارای مصرف زیاد است و در ساعت دیگر مصرفی ندارد جالبتر است. برای فرق

گذاشتن بین این دو مشترک در خصوصی حداکثر توان ظاهری مشترک را در طی ماه اندازه می‌گیرند. همچنین مصرف انرژی به وسیله یک کنتور معمولی اندازه گیری می‌شود. هزینه مصرف ماهیانه مشترک بر اساس مبلغی برای هر کیلو وات آمپر حداکثر توان ظاهری و مبلغی برای هر کیلو وات ساعت مصرفی محاسبه می‌شود. به طوری که می‌خواهیم دید این روش مشترک را تشویق به اصلاح ضریب توان خود به منظور کاهش دادن حداکثر توان ظاهری می‌نماید.

۳-۴-۳-تعریفه های نرخ برق ایران

در تعریفه های فعلی ایران به منظور تشویق مشترکین به مصرف کمتر از نرخهای تصاعده استفاده می‌کنند. تعریفه ۱ مخصوص مشترکین خانگی و تعریفه ۲ مخصوص مشترکین کوچک تجاری است.

جدول ۱-۳ : تعریفه یک مخصوص مشترکین خانگی

بهای هر کیلووات ساعت (ریال)	صرف ماهیانه (کیلو وات ساعت)
۳	۲۵۰ کیلو وات ساعت اول
۶	۱۵۰ کیلو وات ساعت بعدی
۱۰	۱۰۰ کیلو وات ساعت بعدی
۲۰	۵۰۰ کیلو وات ساعت مازاد بر

جدول ۱-۳ : تعریفه دو مخصوص مشترکین تجاری کوچک

بهای هر کیلووات ساعت (ریال)	صرف ماهیانه (کیلو وات ساعت)
۴	۴۰۰ کیلو وات ساعت اول
۶/۵	۱۱۶۰۰ کیلو وات ساعت بعدی
۵	۲۰۰۰ کیلو وات ساعت مازاد بر

در تعریفه های بالا برای مشترکین مناطق جنگی و گرم‌سیر تخفیف هایی در نظر گرفته شده است. برای مصرف کنندگان صنعتی بزرگ و کوچک که از ولتاژ ضعیف استفاده می‌کنند، تعریفه های دو قسمتی ۳ و ۳-الف به کار گرفته می‌شود که این گونه مشترکین را تشویق به استفاده بیشتر از برق در ساعت غیر پیک می‌کند.

جدول ۳-۳ : تعریفه ۳ برای مشترکین صنعتی بزرگ (ولتاژ ضعیف)

بهای (ریال)	صرف ماهیانه
	۱- بهای دیماند :
۱۰۰۰۰	۵۰ کیلووات اول یا کمتر
۱۳۰	هر کیلووات مازاد بر ۵۰
	۲- بهای انرژی :
	الف : ساعت غیر پیک
۲	هر کیلو وات ساعت
	ب : ساعت پیک
۳	هر کیلو وات ساعت

جدول ۳-۴: تعریفه ۳-الف برای مشترکین صنعتی کوچک (ولتاژ ضعیف)

بهای (ریال)	صرف ماهیانه
	۱- بهای دیماند :
۶۰۰	۵۰ کیلووات اول یا کمتر
۱۰۰	هر کیلووات مازاد بر ۵۰
	۲- بهای انرژی :
	الف : ساعت غیر پیک
۲/۱۰	(دیماند × ۹۰) کیلو وات ساعت اول هر کیلووات ساعت
۱/۷۰	(دیماند × ۹۰) کیلو وات ساعت بعدی برای هر کیلووات ساعت
۱/۳۰	(دیماند × ۱۸۰) کیلو وات ساعت بعدی برای هر کیلووات ساعت
۱	مازاد هر کیلووات ساعت

جدول ۳-۵: تعریفه ۴ برای مشترکین صنعتی بزرگ (ولتاژ قوی)

بهای (ریال)	صرف ماهیانه
	۱- بهای دیماند :
۴۳۰۰۰	۳۰۰ کیلووات اول یا کمتر
۸۰	هر کیلووات مازاد بر ۳۰۰
	۲- بهای انرژی :
	الف : ساعت غیر پیک
۱/۰۵	(دیماند × ۳۰۰) کیلو وات ساعت اول هر کیلووات ساعت
۰/۸۶	مازاد هر کیلووات ساعت
	الف : ساعت غیر پیک
۲/۶	هر کیلووات ساعت

مثال ۳-۵

هزینه برق یک مصرف کننده صنعتی بر اساس ۲۰۰ ریال برای هر کیلو ولت آمپر حداکثر توان ظاهری در ماه به اضافه ۱ ریال برای هر کیلو وات ساعت مصرفی می باشد. حداکثر توان ظاهری مصرف کننده ۹۰۰ کیلو وات آمپر و مصرف ماهیانه او $۱/۵ \times ۱۰$ کیلو وات ساعت و ضریب توان او ۰/۸ است.

الف - هزینه ماهیانه برق مشترک را حساب کنید.

ب - در صورتی که ضریب توان مشترک به یک برسد حداکثر توان ظاهری او به ۷۲۰ کیلو ولت آمپر تقلیل می یابد و لذا هزینه ماهیانه او چنین می شود:

$$900 \times 200 + 1.5 \times 10^5 \times 1 = 330,000 \quad \text{الف}$$

ب - در صورتی که ضریب توان مشترک به یک برسد حداکثر توان ظاهری او ۷۲۰ کیلو وات آمپر تقلیل می یابد و لذا هزینه ماهیانه او چنین می شود:

$$720 \times 200 + 1.5 \times 10^5 \times 1 = 294,000$$

مالحظه می کنید که با اصلاح ضریب توان هزینه ماهیانه مشترک در حدود ۱۱ درصد کاهش می یابد. در یک نوع مصرف دو قسمتی معمول در ایران به منظور تشویق مصرف کنندگان صنعتی به کاهش بیشتر حداکثر توان ظاهری و افزایش مصرف، نرخ هر کیلو ولت آمپر توان ظاهری را به طور تصاعدی افزایش می دهند و نرخ هر کیلو وات ساعت مصرفی را برای مصارف بالاتر کاهش می دهند.

۳-۵- اقتصادی ترین ضریب توان

بدیهی است اگر تعریفه یک قسمتی باشد، اصلاح ضریب توان هزینه برق را کاهش نمی دهد. اگر تعریفه دو قسمتی باشد اصلاح ضریب توان هزینه جاری برق را کاهش می دهد لیکن چون نصب خازن خود مستلزم مخارجی است، لازم است به مجموع هزینه برق و خازن توجه شود و اقتصادی ترین ضریب توان تعیین شود.

فرض کنید در یک تعریفه دو قسمتی هزینه برق a ریال در سال برای هر کیلو وات آمپر حداکثر تقاضا و ریال برای هر کیلو وات ساعت مصرفی است. هزینه خازن و نصب آن را برای هر کیلو وات آمپر راکتیو ظرفیت ریال و عمر مفید آن را n سال در نظر بگیرید. اگر باری با توان حقیقی حداکثر A کیلو وات و توان راکتیو حداکثر B کیلو ولت آمپر در سال داشته باشیم که مصرف سالیانه آن D کیلو وات ساعت باشد، بدون نصب خازن هزینه سالیانه چنین است:

$$| \delta D | + a\sqrt{B^2 + A^2}$$

در صورتی که خازنی به ظرفیت C کیلو ولت آمپر نصب کنیم توان راکتیو برابر $B-C$ می شود و در نتیجه حداکثر تقاضا بر حسب کیلو ولت آمپر چنین می شود:

$$\sqrt{A^2 + (B-C)^2}$$

در نتیجه هزینه سالیانه برق با احتساب هزینه خازن از این قرار می شود:

$$\delta D = a\sqrt{A^2 + (B-C)^2} + \frac{\beta C}{n}$$

میزان صرفه جویی سالیانه S برابر می شود با

$$S = a\sqrt{B^2 + A^2} - a\sqrt{A^2 + (B-C)^2} + \frac{\beta C}{n}$$

برای محاسبه مقدار خازنی که میزان صرفه جویی را به حداکثر می رساند، مشتق صرفه جویی را نسبت به C برای صفر قرار می دهیم

$$\frac{dS}{dC} = 0 \Rightarrow a\left[A^2 + (B-C)^2\right]^{-\frac{1}{2}}(B-C) = \frac{\beta}{n}$$

ویا

$$\frac{B-C}{\sqrt{A^2 + (B-C)^2}} = \frac{\beta}{na}$$

چون طرف چپ معادله $\sin \Phi = \frac{B-C}{\sqrt{A^2 + (B-C)^2}}$ پس از اصلاح ضریب توان است، اقتصادی ترین ضریب توان پس از اصلاح چنین است:

$$\cos \Phi = \cos[\sin^{-1} \frac{\beta}{na}] \quad (2-3)$$

مثال ۳

تعرفه یک مشترک صنعتی که از برق سه فاز ۳۸۰ ولت استفاده می کند ۵۰۰ ریال برای هر کیلو ولت آمپر حداکثر تقاضا در سال و ۳ ریال هر کیلو وات ساعت مصرفی است. هزینه نصب خازن برای هر کیلو ولت آمپر راکتیو ظرفیت ۲۰۰۰ ریال و عمر مفید



آن ۱۰ سال است. حداکثر دیماند مشترک را ۱۲۰۰ کیلو ولت آمپر و حداقل آن را ۳۰۰ کیلو ولت آمپر و ضریب توان مشترک را ثابت و برابر ۷۵٪ تاخیری فرض کنید.

الف- اقتصادی ترین ضریب توان برای مشترک چقدر است؟

ب- ظرفیت خازنهای لازم چیست؟

پ- اگر این خازنهای در مدار باقی بمانند، ضریب توان در ساعت حداقل دیماند چقدر می شود؟

الف- با استفاده از (۲-۳) داریم

$$\cos \sin^{-1} \left[\frac{2000}{500 \times 10} \right] = 0.9165$$

ب- قبل از وصل خازن داریم

$$\cos \Phi_i = 0.750$$

$$\sin \Phi_i = 0.6614$$

بعد از وصل خازنهای داریم

$$\cos \Phi_i = 0.9165$$

$$\sin \Phi_i = 0.40$$

X، توان راکتیو خازنهای از رابطه زیر بدست می آید

$$X = 1200 \left[\sin \Phi_i - \cos \Phi_i \times \tan \Phi_f \right] = 1200 [0.6614 - 0.75 \times 0.4364] = 400.92 \text{ KVAR}$$

$$I_c = \frac{400.92}{380\sqrt{3}} \times 1000 = 351.69$$

$$X_c = \frac{380}{351.69} = 1.08$$

$$X_c = \frac{380}{2\pi f c} = 1.08$$

$$C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1.08} = 2947 \text{ uf}$$

$$300 \times 0.6614 = 198.42$$

صرف راکتیو در حالت حداقل مصرف

$$198.42 - 400.92 = -202.5$$

$$\cos \Phi_f = \cos \left[\tan^{-1} \left(\frac{-202.5}{300 \times 0.75} \right) \right] = 0.74$$

که تقدمی خواهد بود. پس در این مورد باید کاهش بار مقدار خازن در مدار را به طور خودکار یا دستی از مدار خارج کرد و از پیشگاز شدن ضریب توان جلوگیری نمود.

مسائل فصل سوم

تعرفه یک مرکز صنعتی که از برق سه فاز ۳۸۰ ولت استفاده می کند ۲۰۰۰ ریال در سال به ازای هر کیلو ولت آمپر حداکثر تقاضا ۸٪ ریال برای هر کیلو وات ساعت مصرفی است.

الف- هزینه سالیانه مصرف کننده را برای حداکثر تقاضای ۹۰۰ کیلو ولت آمپر و مصرف سالیانه ۱/۵ مگاوات ساعت حساب کنید.

- ب- اگر مصرف کننده بدون تغییر در بار حقیقی، ضریب توان خود را از $0/8$ به $0/9$ برساند، هزینه سالیانه برق او چقدر می شود؟
- پ- چه خازنهایی برای این کار لازم است؟
- ۲- یک موتور الکتریکی سه فاز 1000 اسب، 380 ولت، 50 هرتز در بار کامل دارای ضریب توان $0/8$ تاخیری و بازدهی $0/86$ است. خازنهای لازم را افزایش ضریب توان به یک را حساب کنید.
- ۳- بار الکتریکی کارخانه ای از دو خط 380 ولت تغذیه می شود. خط اول جریان متعادل 200 آمپر، با ضریب توان $0/9$ تاخیری و خط دیگر جریان متعادل 100 آمپر با ضریب توان $0/75$ تاخیری دارد. برای تصحیح ضریب توان کارخانه به 1 چه خازنهایی توصیه می کنید:
- ۴- بار یک مرکز صنعتی فرضی که از برق 380 ولت استفاده می کند 1 مگا ولت 1 آمپر در حداکثر تقاضا و یک ریال برای هر کیلو وات ساعت مصرف است.
- الف- هزینه سالیانه مرکز چقدر است؟
- ب- اگر با نصب خازن، مشترک ضریب توان خود را به $0/95$ برساند، هزینه برق سالیانه او چقدر می شود؟
- پ- اندازه خازنهای لازم چقدر است و طریق نصب آنها چیست؟

فصل چهارم

سیمهای عایق دار و کابل‌های برق رسانی

برای برق رسانی به نقاط مختلف از سیمهای کابلها استفاده می شود که در ساختمان آنها فلزات هادی جهت حمل جریان برق به نقاط مورد نظر و عایقهای مناسب به منظور جلوگیری از نشت جریان به نقاط دیگر به کار گرفته می شود. یک هادی با روکش عایق ، سیم روکش دار یا سیم عایق دار نامیده می شود و در صورتی که چند هادی عایق بندی شده در داخل یک غلاف مشترک قرار گیرند، این مجموعه کابل نامیده می شود . در برق رسانی هواپی از سیمهای بدون روکش استفاده می شود که سیم لخت نامیده می شوند. در این فصل به شرح ساختمان سیمهای عایق دار و کابلها می پردازیم.

۱-۴- هادیهای مورد استفاده در سیمهای کابلها

از بین فلزاتی که به عنوان هادی در ساختمان سیمهای کابلها مورد استفاده قرار می گیرند مس از همه معمولتر است و معمولاً از مس با درجه خلوص بالاتر از ۹۹/۵ درصد استفاده می شود تا از فعل و انفعالات شیمیایی ناخالصیها جلوگیری به عمل آید. مس در حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد مقاومت مخصوصی برابر اهم بر متر در مقابل جریان مستقیم از خود نشان می دهد. علاوه بر داشتن مقاومت الکتریکی کم، مس در مقابل اثرات جوی مقاوم است و دارای استحکام مکانیکی مطلوب می باشد و به سهولت می توان آن را به اشکال دلخواه درآورد. فلز دیگری که به این منظور مورد استفاده قرار می گیرد آلومینیوم است که مقاومت مخصوص آن ۱/۶۵ برابر مس است و وزن مخصوص آن سه برابر کمتر از مس می باشد و قیمت آن نیز کمتر است، لیکن عوامل جوی بخصوص رطوبت روی آن تاثیرات سوء نظیر خودگی می گذارد و در اثر اکسیده شدن آن اکسید آلومینیوم حاصل می شود که جسمی عایق است. استحکام مکانیکی آلومینیوم و نرم شدن آن برای قبول اشکال دلخواه به خوبی مس نیست و به این دلایل آلومینیوم کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. لیکن در سالهای اخیر به علت افزایش سریع قیمت مس، آلومینیوم بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. در خطوط انتقال هوایی به علت وزن و قیمت کمتر، آلومینیوم مورد استفاده قرار می گیرد و جهت استحکام مکانیکی این سیمهای بدور سیمهای فولادی پیچیده می شود و یا آلیاژی از آلومینیوم و فولاد مورد استفاده قرار می گیرد. در سالهای اخیر برای رفع مشکلات ناشی از حساسیت آلومینیومی نسبت به عوامل جوی مانند رطوبت، سیمهای آلومینیومی را به جدار نازکی تر مس مجهز می کنند. این سیمهای آلومینیومی با جدار مسی^۱ نام گرفته اند.

۴-۲- ساختمان هادی در سیمهای و کابلها

برای اینکه سیمهای عایق دار یا کابلها دارای قابلیت انعطاف برای حمل و نقل و نصب باشند، هادی را از تعدادی رشته های یکنواخت که به صورت مارپیچ دور هم تابیده می شوند می سازند. در این نوع ساختمان معمولاً یک سیم در وسط قرار می گیرد و شش سیم به دور آن تابیده می شود و در طبقه بعدی ۱۲ سیم مطابق شکل ۱-۴ (a) پیچیده می شود. بدینه است که در این ساختمان تعداد رشته های هر طبقه ۶ عدد بیشتر از عدد سیمهای طبقه قبلی است و یا به صورت کلی تعداد رشته ها چنین می شود:

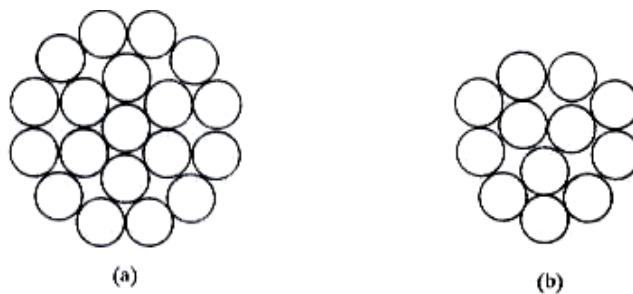
$$N = 3n(n+1)+1 \quad (1-4)$$

در معادله بالا n تعداد طبقات است و دقت کنید که سیم وسط طبقه صفر محسوب می شود. با عددگذاری در رابطه بالا ملاحظه می کنید که تعداد رشته به ترتیب ۱ و ۷ و ۱۹ و ۳۷ و ۶۱ و غیره می شود.

در ساختمان دیگری مطابق شکل ۱-۴ (b) سه رشته در وسط اختیار می شود و تعداد رشته ها در این ساختمان از این قرار می شود:

$$N = 3n(n+2)+3 \quad (2-4)$$

ملاحظه می کنید که در این ساختمان تعداد رشته های ممکنه به ترتیب ۳ و ۱۲ و ۲۷ و ۴۵ و غیره خواهد بود. در برخی سیمهای عایق دار با مقاطع کوچک که قابلیت انعطاف خیلی زیاد لازم است از تعدا خیلی زیادی رشته های بسیار نازک استفاده می کنند و آنها را به هم می تابند. در این نوع ساختمان تعداد رشته ها مطابق روابط (۱-۴) یا (۲-۴) نمی باشند.



شکل ۴ - ۱: نمایش دو نوع سیم رشته‌ای
(a) یک رشته در وسط (b) سه رشته در وسط

دقت کنید در این سیمهای رشته ای یا افشار طول حقیقی رشته ها به استثنای رشته یا رشته های وسط از طول سیم عایق دار بیشتر است و به این دلیل مقاومت سیم معمولاً چند درصد از مقاومتی که بر اساس طول سیم محاسبه می کنیم بیشتر است.

مثال ۱-۴

یک سیم عایق دار $2/5$ (سطح مقطع $2/5$ میلیمتری مربع) از ۷ رشته تشکیل شده است. قطر هر یک از رشته ها چقدر است؟ مقطع هر رشته سیم برابر است با :

$$\frac{2.5}{7} = 0.357 = \pi r^2$$

بنابراین قطر هر رشته از این قرار است:

$$\frac{\pi}{4} d^2 = 0.357$$

که در جدول ۲-۴ ، 0.67 میلیمتر آمده است.

مثال ۲-۴

یک سیم عایق دار از ۱۹ رشته هر یک به قطر $1/53$ میلیمتر تشکیل شده است. سطح مقطع سیم چقدر است؟

$$a = 19 \times \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right)$$

$$= 19 \times \frac{\pi}{4} (1.53)^2 = 34.93$$

این سیم در بازار به سیم ۳۵ معروف است.

۳-۴ مقاومت الکتریکی سیمهای و کابلها

به طوری که گفته شد مقاومت ویژه مس خالص برای برق مستقیم در حرارت 20°C سانتیگراد برابر 1.724×10^{-8} اهم متر است. هرچه درجه حرارت افزایش یابد مقاومت ویژه مس نیز بیشتر می شود. مقاومت ویژه مس برای جریان مستقیم در T درجه سانتیگراد از این قرار است:

$$\rho(T) = 1.724 \times 10^{-8} + 0.68 \times 10^{-10} (T - 20) \quad (3-4)$$

مثال ۳-۴

مقاومت ویژه مس را برای جریان مستقیم برای درجه حرارت کار 70°C درجه سانتیگراد معین کنید.
با استفاده از (۳-۴)

$$\rho(70) = 1.724 \times 10^{-8} + 0.68 \times 10^{-10} (70 - 20)$$

$$= 2.064 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

در برق متناظر مقاومت سیم به علت خاصیت خود القایی و تقسیم غیر یکنواخت جریان در سطح مقطع سیم از مقدار آن برای برق مستقیم قدری بیشتر است. میزان افزایش مقاومت بستگی به فرکانس و ساختمن و اندازه سیم دارد. در فرکانس 50Hz ضریب افزایش مقاومت برای سیم یک رشته ای $1/102$ است که برای سیمهای افشار با تعداد رشته های زیاد ای $1/105$ افزایش می یابد. این ضریب را با K_1 نشان می دهیم.

به طوری که می دانیم در سیمهای افشار، رشته ها به طور مارپیچ به هم تابیده می شوند و لذا طول رشته به استثناء رشته ای که در وسط قرار می گیرد از طول کابل با سیم عایق دار بیشتر است. نظر به اینکه مقاومت را بر اساس طول سیم عایق دار یا کابل محاسبه می کنیم برای محاسبه مقاومت واقعی استفاده از ضریبی برابر یک برای سیمهای یک رشته ای تا $1/104$ برای سیمهای افشار با رشته های زیاد ضروری است. این ضریب را با K_2 نشان می دهیم.

در مورد کابلهای چند سیمی چون سیمهای به طور مارپیچ به هم تابیده می شوند طول حقیقی هر سیم از طول کابل بیشتر است لذا استفاده از ضریبی برابر یک برای کابل یک سیمی تا $1/104$ برای کابلهای چند سیمی ضروری است که با K_3 نشان داده می شود. با توجه به مطلب فوق محاسبه مقاومت موثر هر سیم یک کابل چند سیمی در واحد طول در درجه حرارت کار T با استفاده از فرمول زیر انجام می شود.

$$R(T) = \frac{K_1 K_2 K_3 \rho(T)}{n \times \frac{\pi}{4} (d)^2} \quad (4-4)$$

در معادله بالا ضرایب K_1, K_2, K_3 قبلاً تعریف شده اند $\rho(T)$ مقاومت ویژه مس بر حسب اهم متر برای برق مستقیم در درجه حرارت کار سیم است. n تعداد رشته ها و d قطر هر رشته بر حسب متر است.

مثال ۴-۴

مقاومت موثر یک کابل یک سیمی ۵۰ میلیمتر مربع مسی که از ۱۹ رشته به قطر ۱/۷۸ میلیمتر تشکیل شده است را در حرارت کار ۷۰ درجه سانتیگراد برای برق ۵۰ سیکل در واحد طول حساب کنید.
با استفاده از مقادیر زیر در رابطه (۴-۴)

$$K_1 = 1.02$$

$$K_2 = 1.02$$

$$K_3 = 1$$

$$\rho(70) = 2.064 \times 10^{-8} \Omega m$$

$$R = \frac{1.02 \times 1.02 \times 1.0 \times 2.064 \times 10^{-8}}{19 \times \frac{\pi}{4} (1.78 \times 10^{-3})^2} = 4.54 \times 10^{-4} \Omega m$$

که در جدول ۴-۲ برابر ۴۵۳/۰ اهم آمده است.

مثال ۵-۴

مقاومت موثر سیم عایق دار ۲/۵ میلیمتر مربع یک رشته ای به قطر ۱/۷۸ میلیمتر را در حرارت کار ۷۰ درجه در فرکانس ۵۰ سیکل در واحد طول حساب کنید.
با استفاده از مقادیر زیر در رابطه (۴-۴)

$$K_1 = 1.02$$

$$K_2 = 1.02$$

$$K_3 = 1$$

$$\rho(70) = 2.064 \times 10^{-8} \Omega m$$

$$R = \frac{1.02 \times 1.02 \times 1.0 \times 2.064 \times 10^{-8}}{1 \times \frac{\pi}{4} (1.78 \times 10^{-3})^2}$$

$$R = 8.64 \times 10^{-3} \Omega m$$

که مقدار آن در جدول ۴-۲ برابر ۸/۵۲ اهم در کیلومتر آمده است.

به طوری که گفته شد در سالهای اخیر آلومینیوم بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. چون مقاومت ویژه آلومینیوم در حرارت کار ۷۰ درجه ۱/۶۵ برابر مقاومت ویژه مس است، مقاومت سیمهای عایق دار و کابلهای آلومینیومی ۱/۶۵ برابر سیمهای عایق دار و کابلهای هم اندازه مسی می باشد.

مقاومت سیمهای آلومینیوم با جدار مسی که در برخی کشورها نظیر انگلستان استاندارد شده است به علت کوچکی ضخامت روکش مسی مانند سیمهای آلومینیومی محاسبه می شود.

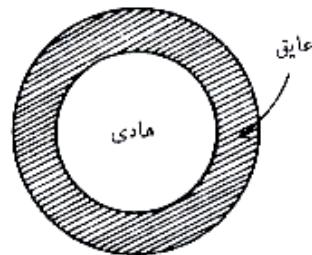
۴-۴ عایقهای مورد استفاده در سیمهای عایق دار و کابلها فشار ضعیف

برای عایق کردن سیمهای کابلها از کاغذ آغشته به روغن، لاستیک طبیعی، لاستیک مصنوعی، و پلاستیک استفاده می شده است. کاغذ که از چوبهای جنگلی کشورهای اسکاندیناویا ساخته می شود اولین عایق بود که مورد استفاده قرار گرفت و به علت خصوصیات بسیار خوبی که دارد امروزه نیز جزء لاینفک کابلهای فشار قوی می باشد لیکن در فشار ضعیف به علل اقتصادی کمتر

دیده می شود. لاستیک طبیعی که از شیره درختی که در مناطق استوایی می روید استفاده قرار می گرفته است، لیکن به علت برخی معایب امروزه کمتر معمول است. لاستیک به سهولت می سوزد ، در نور آفتاب و در گرما ترک می خورد و به سهولت رطوبت جذب می کند که خواص عایقی آن را از بین می برد. در سالهای اخیر پلاستیکهای متعددی برای عایق بندی مورد استفاده قرار گرفته که اهم آنها کلورپلی وینیل است که به نام تجاری pvc معروف شده است. PVC دارای استحکام مکانیکی خوب و قابلیت انعطاف بوده، به سهولت نمی سوزد و رطوبت جذب نمی کند، لیکن در درجه حرارت نسبتاً کمی ذوب می شود. نظر به اینکه PVC در درجه حرارت‌های بالا ارزش عایقی خود را از دست می دهد آنها را صورتی مورد استفاده قرار می دهیم که درجه حرارت آنها در حین کار از ۷۰ درجه متجاوز نگردد. عایقهای PVC در سیمهای عایق دار و کابلهای فشار ضعیف امروزه بسیار مورد استفاده هستند و در فشارهای متوسط حدود ۱۱ کیلو ولت نیز دیده می شوند، لیکن در ولتاژهای بالاتر به ندرت مورد استفاده قرار می گیرند.

۴-۵-۴- ساختمان سیمهای عایق دار و اندازه های استاندارد

ولتاژ مورد استفاده در برق رسانی که مورد نظر ماست ۲۲۰ ولت تک فاز و ۳۸۰ ولت سه فاز است که به فشار ضعیف معروف است . سیم های عایق دار فشار ضعیف ، ساختمان ساده ای مطابق شکل ۲-۴ دارند . هادی از رشته های به هم تابیده تشکیل شده و روی آن عایق PVC قرار می گیرد . سطح مقطع هادی طوری انتخاب شده است که بتواند جریان لازم برای بدون افزایش درجه حرارت از حد مجاز عبور نماید و ضخامت PVC طوری انتخاب می شود که بتواند موجود را تحمل کند و همچنین دارای استحکام مکانیکی کافی باشد .



شکل ۴ - ۲ : مقطع سیم عایق دار

مشخصات برخی سیم های عایق دار معمول در ایران که مطابق استانداردهای اروپایی توسط شرکت کابل سازی آیکو در تهران ساخته می شوند در جدول ۱-۴ و ۲-۴ آمده است . در جدول ۱-۴ برخی سیم های عایق دار خیلی قابل انعطاف در مقاطع کوچک آمده است و در جدول ۲-۴ کلیه اندازه های استاندارد داده شده است و در ستون اول سمت راست سطح مقطع هادی بر حسب میلی متر مربع آمده است که در محیط کار و بازار مشخصه سیم عایق دار محسوب می شوند . ستون دوم تعداد رشته ها و قطر هر رشته را بر حسب میلی متر معین می کند . ستون سوم ضخامت عایق PVC را بر حسب میلی متر به دست می دهد و سه ستون بعدی قطر خارجی ، وزن و مقاومت الکتریکی سیم را برای هر کیلومتر مشخص می کند . ملاحظه می کنید که تعداد رشته های در جدول ۱-۴ با معادلات (۱-۴) و (۲-۴) تطبیق ندارد ، لیکن در جدول ۲-۴ این مطابقت موجود است . این سیم های عایق دار برای سیم کشی عمومی نظیر نصب در لوله ها ، روکار یا توکار مناسب هستند .

جدول ۱-۴ : مشخصات سیم های عایق دار خیلی قابل انعطاف استاندارد ایران

مقاومت در 70° (اهم در کیلومتر)	وزن سیم (کیلوگرم در کیلومتر)	قطر خارجی سیم (میلیمتر)	ضخامت عایق (میلیمتر)	تعداد و قطر رشته ها (میلیمتر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
۴۴/۴	۹	۲/۲	۰/۶	۱۶×۰/۲۰	۰/۵
۲۹/۴	۱۱	۲/۳	۰/۶	۲۴×۰/۲۰	۰/۷۵
۲۲/۴	۱۴	۲/۵	۰/۶	۳۲×۰/۲۰	۱
۱۵/۴	۱۹	۳	۰/۷	۳۰×۰/۲۵	۱/۵
۹/۴	۳۱	۳/۲	۰/۸	۵۱×۰/۲۵	۲/۵
۵/۴	۴۷	۴/۲	۰/۸	۵۶×۰/۳۰	۴
۳/۴	۷۰	۵/۲	۰/۸	۸۴×۰/۳۰	۶

جدول ۲-۴ : مشخصات سیم های عایق دار استاندارد ایران

مقاومت در 70° (اهم در کیلومتر)	وزن سیم (کیلوگرم در کیلومتر)	قطر خارجی سیم (میلیمتر)	ضخامت عایق (میلیمتر)	تعداد و قطر رشته ها (میلیمتر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
۲۱/۲	۱۶	۲/۷	۰/۸	۱×۱/۱۳	۱
۱۴/۲	۲۱	۳	۰/۸	۱×۱/۳۸	۱/۵
۱۵/۹	۲۱	۳/۱	۰/۸	۷×۰/۵۰	۱/۵
۸/۵۴	۳۱	۳/۴	۰/۸	۱×۱/۷۸	۲/۵
۸/۷۰	۳۳	۳/۶	۰/۸	۷×۰/۶۷	۲/۵
۵/۴۱	۴۹	۴/۲	۰/۸	۷×۰/۸۵	۴
۳/۶۱	۶۹	۴/۷	۰/۸	۷×۱/۰۴	۶
۲/۱۴	۱۱۶	۶/۱	۱	۷×۱/۳۵	۱۰
۱/۳۵	۱۷۶	۷/۱	۱	۷×۱/۷۰	۱۶
۰/۸۵۲	۲۷۶	۸/۸	۱/۲	۷×۲/۱۴	۲۵
۰/۶۱۵	۳۶۸	۱۰	۱/۲	۱۹×۱/۵۳	۳۵
۰/۴۵۳	۵۰۰	۱۱/۷	۱/۴	۱۹×۱/۷۸	۵۰
۰/۳۱۳	۷۰۶	۱۳/۵	۱/۴	۱۹×۲/۱۴	۷۰
۰/۲۲۶	۹۷۵	۱۵/۸	۱/۶	۱۹×۲/۵۲	۹۵
۰/۱۷۹	۱۲۱۰	۱۷/۴	۱/۶	۳۷×۲/۰۳	۱۲۰
۰/۱۴۶	۱۴۸۹	۱۹/۴	۱/۸	۳۷×۲/۲۵	۱۵۰
۰/۱۱۶	۱۸۶۶	۲۱/۶	۲	۳۷×۲/۵۲	۱۸۵
۰/۰۸۸۵	۲۴۳۶	۲۴/۷	۲/۲	۶۱×۲/۲۵	۲۴۰
۰/۰۷۰۶	۳۰۴۸	۲۷/۵	۲/۴	۶۱×۲/۵۲	۳۰۰
۰/۰۵۵۲	۳۸۸۳	۳۰/۹	۲/۶	۶۱×۲/۸۵	۴۰۰
۰/۰۳۶۶	۴۸۷۷	۳۴/۴	۲/۸	۶۱×۳/۲۰	۵۰۰
۰/۰۳۳۹	۶۲۷۶	۳۸/۴	۲/۸	۱۲۷×۲/۵۲	۶۳۰

مثال ۴

وزن سیم عایق دار ۱ میلی متر مربع یک رشته ای را محاسبه کنید و با مقدار داده شده در جدول مقایسه کنید . وزن مخصوص مس $8/9$ گرم و وزن مخصوص PVC $1/35$ گرم بر سانتی متر مکعب است .
حجم مس در یک کیلومتر چنین است :

$$1 \times (1000 \times 1000) = 10^6 \text{ mm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3$$

وزن مس در یک کیلومتر طول از این قرار می شود :

$$10^3 \times (8.9 \times 10^{-3}) = 8.9 \text{ Kg}$$

نظر به این که شعاع هادی برابر $565/0$ میلیمتر و شعاع خارجی سیم برابر $1365/1$ میلیمتر است حجم عایق در یک کیلومتر طول چنین است:

$$\pi \left[(1.356)^2 - (0.565)^2 \right] \times 1000 \times 1000 = 4850000 \text{ mm}^3 = 4850 \text{ cm}^3$$

وزن عایق در یک کیلومتر طول کابل از این قرار است:

$$4850 \times 1.35 \times 10^{-3} = 6.55 \text{ kg}$$

لذا وزن این سیم عایق دار در هر کیلومتر طول از این قرار است :

$$8.9 + 6.55 = 15.54 \text{ kg}$$

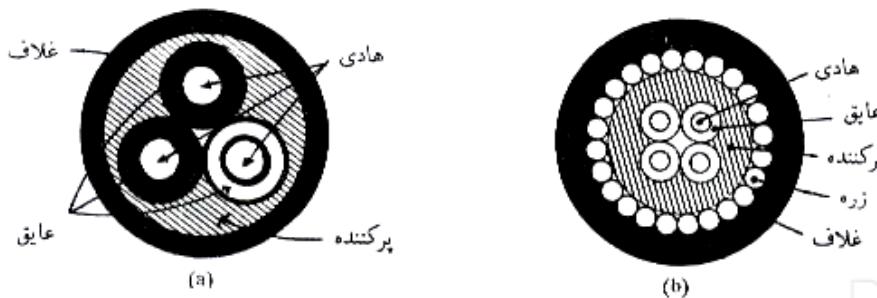
که در جدول به طور تقریب 16 کیلوگرم آمده است:

در جداول ملاحظه می کنید که ضخامت عایق ، با زیاد شدن سطح مقطع هادی افزایش یافته است. با توجه به اینکه این سیمهای همه برای ولتاژ پایین (380 ولت و 220 ولت) طرح ریزی شده اند دلیل این امر چیست؟ دقت کنید که طاقت تحمل الکتریکی PVC در حدود 20 کیلوولت در هر میلیمتر است و لذا کوچکترین ضخامت عایق در جداول که برابر $6/0$ است به مراتب از میزان لازم برای عایق بندی بیشتر است .

۴-۶- ساختمان کابل‌های فشار ضعیف و اندازه های استاندارد

کابل‌های فشار ضعیف (تا 1000 ولت) امروزه کلاً با استفاده از هادی مس و عایق PVC ساخته می شوند . در محیطهایی که خطر ضربات مکانیکی کم باشد از کابل بدون زره استفاده می شود و در محلهایی که خطر صدمات مکانیکی موجود باشد از کابل دارای زره محافظ استفاده می شود.

مقاطع دو کابل از این دو نوع در شکل ۴-۳ نشان داده شده اند.



شکل ۴-۳: مقاطع دو کابل سه سیمه (a) بدون زره، (b) با زره محافظ

به طوری که در شکل ملاحظه می کنید هر یک از هادیهای ابتدا از عایق PVC پوشانده می شود در شکل هادیها با مقاطع دایره ای نشان داده شده اند لیکن در بسیاری موارد آنها را تقریباً به شکل قطاعی از دایره می سازند که رأس آن در مرکز و قاعده آن به موازات سطح خارجی قرار می گیرد. هادیهای عایق شده به هم تابیده می شوند و در صورتی که مطابق شکل دایره شکل باشند با استفاده از پر کننده PVC شکل مجموعه را به صورت دایره در می آورند. در صورتی که هادیها قطاعی اختیار شده باشند مجموعه خود به خود تقریباً دایره شکل می گردد و در این صورت به جای پرکننده آنها را در نوار پلاستیک می پیچند. در کابل بدون زره با کشیدن غلاف PVC به روی کابل کار خاتمه می یابد لیکن در کابل دارای زره محافظ، به منظور افزایش استحکام مکانیکی زرهی از سیم فولاد گالوانیزه به دور کابل تابیده می شود و سپس غلاف PVC روی آن کشیده می شود. غلاف علاوه بر ایجاد استحکام مکانیکی از نفوذ آب به داخل کابل و از اثرات فعل و انفعالات شیمیایی بر روی کابل جلوگیری می کند. در کابل با عایق کاغذی که نسبت به رطوبت بسیار حساس است از غلاف فلزی از جنس سرب یا آلومینیوم استفاده به عمل می آید. در کابلهای چهار سیمی که در شبکه های توزیع سه فاز (سه فاز و نوترال) مورد استفاده قرار می گیرند نظر به اینکه جریان سیم نوترال معمولاً از جریان فازها خیلی کمتر است سیم نوترال را با مقطعی در حدود نصف مقطع سیم فازها در نظر می گیرند (توجه داشته باشید که در سیستمهای سه فاز کاملاً متعادل هیچ جریانی از سیم نوترال نمی گذرد).

در جدول ۳-۴ مشخصات برخی کابلهای سه سیمی یا چهار سیمی بدون زره ساخت شرکت آیکو آمده است که برای کابل کشی در داخل یا خارج ساختمان و در رو یا زیرزمین در امکنی که خطر ضربات مکانیکی موجود نباشد مناسب هستند. در جدول ۴-۴ مشخصات برخی کابلهای چهار سیمی مسلح به زرهی از سیمهای فولادی گالوانیزه با غلاف PVC آمده است که برای مصارف زیرزمینی در امکنی که احتمال وجود ضربات مکانیکی زیاد است مناسبند.

در ستون اول این جداول تعداد سیمهای و مقطع هر یک از آنها داده شده است. در مورد کابلهای چهار سیمی که مقطع سیم چهارم کمتر از سه سیم دیگر است مقطع سیم چهارم بعد از علامت ممیز آمده است. برای مثال $3 \times 35/16$ مشخص کننده یک کابل چهار سیمی است که سه سیم آن مقطع ۳۵ میلیمتر مربع و سیم چهارم آن مقطع ۱۶ میلیمتر مربع دارد. شکل هادیها مورد استفاده در کابلها نیز در این ستون مشخص شده است. در ستون دوم تعداد قطر رشته های سیمهای اصلی کابل داده شده است. در مورد کابلهای چهار سیمی که سیم چهارم آنها کوچکتر است این ستون مربوط به سیم چهارم نمی شود. در ستونهای بعدی ضخامت عایق سیمهای اصلی، ضخامت غلاف، قطر خارجی کابل و وزن کابل در کیلومتر طول و مقاومت هر یک از سیمهای اصلی در کیلومتر آمده است.

در مقایسه کابلهای یک اندازه ملاحظه می کنید که کابلهایی که از هادیهای دایره ای ساخته شده اند دارای قطر و وزن بیشتر هستند که در نتیجه گرانتر می باشند.

جدول ۳-۴ : مشخصات کابلهای سه سیمی یا چهار سیمی بدون زره استاندارد ایران

مقاومت در 70° (اهم در کیلومتر)	وزن کابل (کیلوگرم در کیلومتر)	قطر خارجی (میلیمتر)	ضخامت غلاف (میلیمتر)	ضخامت عایق (میلیمتر)	تعداد و قطر رشته ها (میلیمتر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
هادی دایره ای						
۲/۱۶	۶۳۸	۱۸/۲	۱/۸	۱	$1 \times 1/35$	3×10
۱/۳۶	۹۲۵	۲۱/۳	۱/۸	۱	$1 \times 1/70$	3×16
هادی قطاعی						
۰/۸۶۳	۱۰۲۹	۲۰/۹	۱/۸	۱/۲	$19 \times 1/37$	3×25
۰/۶۲۷	۱۳۴۲	۲۲/۹	۱/۸	۱/۲	$19 \times 1/58$	3×35
۰/۴۶۳	۱۷۷۰	۲۶/۳	۱/۸	۱/۴	$19 \times 1/86$	3×50
۰/۳۲۱	۲۴۸۲	۲۹/۴	۱/۹	۱/۴	$19 \times 2/26$	3×70
۰/۲۳۲	۳۳۱۵	۳۴	۲/۱	۱/۶	$37 \times 1/86$	3×95
۰/۱۸۴	۴۱۲۶	۳۶/۹	۲/۲	۱/۶	$37 \times 2/08$	3×120
۰/۱۵۰	۵۱۱۷	۴۰/۸	۲/۳	۱/۸	$37 \times 2/30$	3×150
۰/۱۲۰	۶۲۸۸	۴۵/۱	۲/۵	۲	$37 \times 2/54$	3×180
۰/۰۹۲	۸۱۱۱	۵۰/۴	۲/۶	۲/۲	$61 \times 2/26$	3×240
هادی دایره ای						
۰/۸۶۳	۱۵۸۵	۲۷/۳	۱/۸	۱/۲	$7 \times 2/14$	$3 \times 25/16$
۰/۶۲۷	۲۰۱۱	۳۰/۳	۱/۸	۱/۲	$19 \times 1/53$	$3 \times 35/16$
هادی قطاعی						
۰/۸۶۳	۱۲۲۸	۲۲/۹	۱/۸	۱/۲	$19 \times 1/37$	$3 \times 25/16$
۰/۶۲۷	۱۵۴۹	۲۵/۲	۱/۸	۱/۲	$19 \times 1/58$	$3 \times 35/16$
۰/۴۶۳	۲۰۹۷	۲۹/۳	۱/۹	۱/۴	$19 \times 1/86$	$3 \times 50/25$
۰/۳۲۱	۲۹۳۷	۳۳	۲	۱/۴	$19 \times 2/26$	$3 \times 70/35$
۰/۲۳۲	۳۹۱۵	۳۷/۶	۲/۱	۱/۶	$37 \times 1/86$	$3 \times 95/50$
۰/۱۸۴	۴۹۲۳	۴۰/۹	۲/۲	۱/۶	$37 \times 2/08$	$3 \times 120/70$
۰/۱۵۰	۵۹۴۸	۴۵/۵	۲/۴	۱/۸	$37 \times 2/30$	$3 \times 150/70$
۰/۱۲۰	۷۳۷۰	۵۰	۲/۵	۲	$37 \times 2/54$	$3 \times 180/95$
۰/۰۹۲	۹۴۷۸	۵۶/۱	۲/۷	۲/۲	$61 \times 2/26$	$3 \times 240/120$

جدول ۴-۳: مشخصات کابلهای چهار سیمی زره دار استاندارد ایران

مقاومت در 70° (اهم در کیلومتر)	وزن کابل (کیلوگرم در کیلومتر)	قطر خارجی (میلیمتر)	ضخامت غلاف (میلیمتر)	ضخامت عایق (میلیمتر)	تعداد و قطر رشته ها (میلیمتر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
						هادی دایره ای
۰/۸۶۳	۶۳۸	۳۰/۱	۱/۸	۱/۲	$۷ \times ۱/۳۵$	$۳ \times ۲۵/۱۶$
۰/۶۲۷	۹۲۵	۳۳/۱	۱/۸	۱/۲	$۱۹ \times ۱/۷۰$	$۳ \times ۳۵/۱۶$
						هادی مثلثی
۰/۸۶۳	۱۹۵۴	۲۶/۸	۱/۸	۱/۲	$۱۹ \times ۱/۳۷$	$۳ \times ۲۵/۱۶$
۰/۶۲۷	۲۳۶۱	۲۹/۳	۱/۹	۱/۲	$۱۹ \times ۱/۵۸$	$۳ \times ۳۵/۱۶$
۰/۴۶۴	۳۰۱۹	۳۲/۲	۱/۹	۱/۴	$۱۹ \times ۱/۸۶$	$۳ \times ۵۰/۲۵$
۰/۳۲۲	۴۱۹۹	۳۷/۴	۲	۱/۴	$۱۹ \times ۲/۲۶$	$۳ \times ۷۰/۳۵$
۰/۲۲۳	۵۳۶۱	۴۲/۴	۲/۲	۱/۶	$۳۷ \times ۱/۸۶$	$۳ \times ۹۵/۵۰$
۰/۱۸۵	۶۹۰۱	۴۹/۵	۲/۳	۱/۶	$۳۷ \times ۲/۰۸$	$۳ \times ۱۲۰/۷۰$
۰/۱۵۱	۸۱۱۵	۵۰/۹	۲/۴	۱/۸	$۳۷ \times ۲/۳۰$	$۳ \times ۱۵۰/۷۰$
۰/۱۲۲	۹۷۴۶	۵۵/۴	۲/۵	۲	$۳۷ \times ۲/۵۸$	$۳ \times ۱۸۵/۹۵$
۰/۰۹۴۵	۱۲۲۳۰	۶۱/۷	۲/۷	۲/۲	$۱۲۶ \times ۱/۵۸$	$۳ \times ۲۴۰/۱۲۰$
						هادی دایره ای
۲/۸۶۳	۱۱۷۲	۲۱/۹	۱/۶	۱	$۷ \times ۱/۳۵$	۴×۱۰
۱/۶۲۷	۱۷۲۵	۲۵/۷	۱/۷	۱	$۷ \times ۱/۷۰$	۴×۱۶
						هادی قطاعی
۰/۸۶۳	۲۰۰۲	۲۶/۸	۱/۸	۱/۲	$۱۹ \times ۱/۳۷$	۴×۲۵
۰/۶۲۷	۲۵۵۸	۲۹/۳	۱/۹	۱/۲	$۱۹ \times ۱/۵۸$	۴×۳۵
۰/۴۶۴	۳۴۹۱	۳۴/۲	۲	۱/۴	$۱۹ \times ۱/۸۶$	۴×۵۰
۰/۳۲۲	۴۵۷۲	۳۷/۶	۲/۱	۱/۴	$۱۹ \times ۲/۲۶$	۴×۷۰
۰/۲۲۳	۵۸۴۲	۴۲/۲	۲/۲	۱/۶	$۳۷ \times ۱/۸۶$	۴×۹۵
۰/۱۸۵	۷۴۲۴	۴۶/۷	۲/۴	۱/۶	$۳۷ \times ۲/۰۸$	۴×۱۲۰
۰/۱۵۱	۸۹۴۹	۵۱/۱	۲/۵	۱/۸	$۳۷ \times ۲/۳۰$	۴×۱۵۰
۰/۱۲۲	۱۰۶۸۳	۵۵/۶	۲/۶	۲	$۳۷ \times ۲/۵۸$	۴×۱۸۵
۰/۰۹۴۵	۱۳۵۰۵	۶۱/۹	۲/۸	۲/۲	$۱۲۶ \times ۱/۵۸$	۴×۲۴۰

۷-۴ - علائم مشخصه کابلها

در استاندارد آلمانی که در ایران معمول شده است ساختمان کابلها با حروف الفبا مشخص می شود. در این روش حرف اول جنس هادی را مشخص می کند. N علامت مس و NA علامت آmominyom است . حرف دوم عایق سیمها رو مشخص می کند . Y علامت پلاستیک و G علامت لاستیک است و در صورتی که حرفی وجود نداشته باشد عایق کاغذی مورد نظر است . قسمت بعد معین کننده نوع غلاف است. Y غلاف پلاستیکی ، K غلاف سربی و KL غلاف آلومینیومی است . قسمت بعد مشخص کننده نوع زره است. B مشخص کننده سیمهای فولادی و Gb معین کننده سیم فولاد گالوانیزه است. بالاخره قسمت آخر جنس روپوش خارجی را مشخص می کند و در آن A معین کننده الیاف گیاهی (جوت) می باشد. در ذیل علائم چند کابل ولتاژ ضعیف که در برق رسانی مورد استفاده قرار می گیرند آمده است.

NYY کابل با هادی مس، عایق و غلاف پلاستیک

NAYY کابل با هادی آلومینیوم ، عایق و غلاف پلاستیک

NGG کابل با هادی مس، عایق و غلاف لاستیک

NAGG کابل با هادی آلومینیوم، عایق و غلاف لاستیک

NYKB کابل با هادی مس، عایق پلاستیک ، غلاف سرب و زره فولادی

NYYGb کابل با هادی مس، عایق و غلاف پلاستیک و زره فولاد گالوانیزه

NKBA کابل با هادی مس ، عایق کاغذ ، غلاف سرب ، زره فولاد و روپوش خارجی الیاف گیاهی

کابلهای ولتاژ بالا دارای ساختمان مفصلتری هستند و توضیح آنها در اینجا مورد نظر ما نمی باشد.

مسائل فصل چهارم

- ۱- وزن و مقاومت اهمی (در ۷۰ درجه سانتیگراد) در هر کیلومتر سیم ۲۵ مسی عایق دار با عایق پی- وی- سی را تعیین و با جدول مقایسه کنید.
- ۲- وزن و مقاومت هر سیم (در ۷۰ درجه سانتیگراد) یک کابل مسی، با عایق و غلاف پی- وی- سی ۳×۱۲۰/۷۰ را تعیین و با جدول مقایسه کنید.
- ۳- وزن و مقاومت هر سیم یک کابل ۴×۲۵ مسی قطاعی با عایق و غلاف پی- وی- سی را معین کنید.

فصل پنجم

جريان مجاز سیمه‌ها و کابل‌های فشار ضعیف

به طوری که می‌دانیم جريان برق در عبور از سیمه‌ها و کابل‌ها ایجاد حرارت می‌کند که سبب افزایش درجه حرارت اجزاء متشکله آنها می‌گردد. در صورتی که این افزایش درجه حرارت ادامه یابد، موجب خرابی عایقها می‌شود. زیرا به طوری که دیدیم برای مثال حداکثر درجه حرارت مجاز برای عایق پلاستیکی پی-وی-سی برابر ۷۰ درجه سانتیگراد است. بنابراین برای حفاظت عایقها لازم است در حالت تعادل درجه حرارت آنها از حداکثر مجاز متجاوز نگردد. لازمه ثابت ماندن درجه این است که حرارت تولید شده کلا به محیط خارج منتقل گردد. انتقال حرارت به خارج از طریق هدایت، کنواکسیون و تشعشع صورت می‌گیرد و تابع درجه حرارت نهایی، درجه حرارت محیط، ضریب انتقال حرارت، مساحت و وضعیت سطح خارجی کابل و وضعیت استقرار آن می‌باشد. بنابراین جريان مجاز سیمه‌ها و مقاومت الکتریکی آنها بوده و تعیین دقیق آن مستلزم حل مسئله انتقال حرارت مربوط می‌باشد.

در قسمت اول این فصل جريانهای مجاز سیمه‌ها و کابل‌ها تحت شرایط مختلف به صورت جداولی داده شده است و در قسمت دوم تجزیه و تحلیل مسئله انتقال حرارت برای علاقه مندان به انجام اين گونه محاسبات آمده است.

۱-۵- جريان مجاز سیمه‌ای مسی با عایق پی-وی-سی

سیمه‌ای عایق دار را بسته به وضعیت نصب آنها به سه گروه تقسیم می‌کنیم.

گروه ۱ سیمه‌ای داخل لوله را شامل می‌شود و تعداد سیمه‌ها در هر لوله یک تا سه در نظر گرفته شده است.

گروه ۲ سیمه‌ای دولایه سه لا، که آزادانه در هوا کشیده می‌شوند و معمولاً برای تغذیه مصرف کننده‌های قابل حمل و نقل به کار می‌روند را شامل می‌شود.

گروه ۳ تعداد سیمه‌ای یک لا را که آزادانه در هوا کشیده شده و فاصله بین سیمه‌ای مجاور حداقل برابر قطر سیم باشد را شامل می‌گردد.

جريان مجاز سیمه‌ای استاندارد مسی با عایق پی-وی-سی برای حداکثر حرارت مجاز ۷۰ درجه و حرارت محیط ۲۵ درجه در جدول ۱-۵ آمده است.

جدول ۱-۵ : جریان مجاز سیمهای عایق دار

جریان مجاز گروه ۳ چند سیم یک لا درهوا	جریان مجاز گروه ۲ سیم چند لا درهوا	جریان مجاز گروه ۱ تا سه سیم در لوله	سطح مقطع سیم (میلیمتر مربع)
۱۶	۱۳	-	۰/۷۵
۲۰	۱۶	۱۲	۱
۲۵	۲۰	۱۶	۱/۵
۳۶	۲۷	۲۱	۲/۵
۴۵	۳۶	۲۷	۱/۴
۵۷	۴۷	۳۵	۶
۷۸	۶۵	۴۸	۱۰
۱۰۴	۸۷	۶۵	۱۶
۱۳۷	۱۱۵	۸۸	۲۵
۱۶۸	۱۴۳	۱۱۰	۳۵
۲۱۰	۱۷۸	۱۴۰	۵۰
۲۶۰	۲۲۰	۱۷۵	۷۰
۳۱۰	۲۶۵	۲۱۰	۹۵
۳۶۵	۳۱۰	۲۵۰	۱۲۰
۴۱۵	۳۵۵	-	۱۵۰
۴۷۵	۴۰۵	-	۱۸۵
۵۶۰	۴۸۰	-	۲۴۰
۶۴۵	۵۵۵	-	۳۰۰
۷۷۰	-	-	۴۰۰
۸۸۰	-	-	۵۰۰

در صورتی که درجه حرارت محیط اطراف سیم ۲۵ درجه نباشد، جریانهای مجاز داده شده در جدول ۱-۵ را با ضرایبی که در

جدول ۲-۵ داده شده است تصحیح می کنیم.

جدول ۲-۵ : ضرایب تصحیح جریان مجاز

درجہ حرارت فضا	ضریب تصحیح
۵۰	۰/۶۷
۴۵	۰/۷۵
۴۰	۰/۸۲
۳۵	۰/۸۸
۳۰	۰/۹۴
۲۵	۱
۲۰	۱/۰۵
۱۵	۱/۱۰
۱۰	۱/۱۵
۵	۱/۲

۲-۵- جریان مجاز کابلهای مسی با عایق و غلاف پی- وی- سی

کابلهای مسی با عایق و غلاف پی- وی- سی با یا بدون زره فولادی را بسته به وضعیت نصب آنها به دو گروه تقسیم می کنیم.

گروه اول کابلهای نصب شده در زیر زمین است که در عمق ۷۰ سانتیمتر و درجه حرارت زمین ۲۰ درجه درنظر گرفته می شود.

گروه دوم کابلهای مستقر در هوا با درجه حرارت ۳۰ درجه است. جریانهای مجاز کابلهای یک سیمی، دو سیمی و سه تا چهار

سیمی برای حرارت کار ۷۰ درجه در جدول ۳-۵ داده شده است.



کابل سه يا چهار سيمي		کابل دو سيمي		کابل يك سيمي		سطح مقطع (ميليمتر مربع)
٣٠° هوای	٢٠° زمین	٣٠° هوای	٢٠° زمین	٣٠° هوای	٢٠° زمین	
١٨	٢٧	٢١	٣٠	٢٦	٣٧	١٥
٢٥	٣٦	٢٩	٤١	٣٥	٥٠	٢٥
٣٤	٤٦	٣٨	٥٣	٤٦	٦٥	٤
٤٤	٥٨	٤٨	٦٦	٥٨	٨٣	٦
٥٠	٧٧	٦٦	٨٨	٨٠	١١٠	١٠
٨٠	١٠٠	٩٠	١١٥	١٠٥	١٤٥	١٦
١٠٥	١٣٠	١٢٠	١٥٠	١٤٠	١٩٠	٢٥
١٣٠	١٥٥	١٥٠	١٨٠	١٧٥	٢٣٥	٣٥
١٦٠	١٨٥	١٨٠	٢١٠	٢١٥	٢٨٠	٥٠
٢٠٠	٢٢٠	٢٣٠	٢٦٠	٢٧٠	٣٥٠	٧٠
٢٤٥	٢٧٥	٢٧٥	٣١٥	٣٣٥	٤٢٠	٩٥
٢٨٥	٣١٥	٣٢٠	٣٦٠	٣٩٠	٤٨٠	١٢٠
٣٢٥	٣٥٥	٣٧٥	٤٠٠	٤٤٥	٥٤٠	١٥٠
٣٧٠	٤٠٠	٤٣٠	٤٦٠	٥١٠	٦٢٠	١٨٥
٤٣٥	٤٦٥	٥١٠	٥٣٠	٥٢٠	٧٢٠	٢٤٠
٥٠٠	٥٢٠	٥٩٠	٥٩٠	٧١٠	٨٢٠	٣٠٠
٦٠٠	٦٠	٧١٠	٦٨٠	٨٥٠	٩٦٠	٤٠٠
-	-	-	-	١٠٠٠	١١١٠	٥٠٠

جدول ٣-٥: جريان مجاز كابل ها با هادی مسي و عايق وغلاف پي - وي - سى

در صورتی که درجه حرارت هوا غير از ٣٠ درجه و حرارت زمین غير از ٢٠ درجه باشد مقادير جريانهای مجاز جدول ٣-٥ را با ضرایب جدول ٤-٥ تصحیح می کنیم.

٤-٥- ضریب تصحیح جريان مجاز کابل ها

درجہ حرارت هوا	ضریب تصحیح
٥٥	٥٠
٥٠	٤٥
٤٥	٤٠
٤٠	٣٥
٣٥	٣٠
٣٠	٢٥
٢٥	٢٠
٢٠	١٥
١٥	١٠
١٠	٥
٥	٤
٤	٣
٣	٢
٢	١
١	٠/٦١
٠/٦١	٠/٧١
٠/٧١	٠/٧٩
٠/٧٩	٠/٨٧
٠/٨٧	٠/٩٤
٠/٩٤	١
١	١/٠٦
١/٠٦	١/١٢
١/١٢	١/١٧
١/١٧	١/١٢١
١/١٢١	١/٢٧

درجہ حرارت زمین	ضریب تصحیح
٣٥	٣٠
٣٠	٢٥
٢٥	٢٠
٢٠	١٥
١٥	١٠
١٠	٥
٥	٤
٤	٣
٣	٢
٢	١
١	٠/٨٤
٠/٨٤	٠/٨٩
٠/٨٩	٠/٩٥
٠/٩٥	١
١	١/٠٥
١/٠٥	١/١٠

٣-٥- جريان های مجاز سيمهای مسي بدون عايق

سيمهای بدون عايق که در شبکه های هوایی مورد استفاده قرار می گيرند باید دارای استحکام مکانیکی کافی برای تحمل وزن خود و فشار باد و بخ و برف باشند. به اين دليل عموماً از سيمهای کوچکتر از ٦ ميليمتر مربع در سيم کشي هوایی استفاده نمی شود. با توجه به اينکه اين سيمهای فاقد عايق می باشند ممکن است اين تصور پيش آيد که افزایش درجه حرارت به هر ميزان بدون اشكال است. لیکن با در نظر گرفتن اين حقیقت که با افزایش درجه حرارت به هر ميزان بدون اشكال است. لیکن با در نظر گرفتن اين حقیقت که با افزایش درجه حرارت مقاومت کششی سيم کاهش می یابد لزوم محدود کردن درجه حرارت کار سيم

روشن می شود. جريان مجاز اين سيمها برای حرارت کار ۶۰ درجه و هوای ۲۵ درجه در جدول ۵-۵ آمده است. در برخی استانداردها نظير استاندارد انگلستان حرارت کار سيمهای هوایی ۷۵ درجه در نظر گرفته می شود که جريان مجاز سيمها را به میزان قابل ملاحظه ای بالا می برد.

جدول ۵-۵: جريان مجاز سيم های بدون عايق هوائي

جريان مجاز (آمپر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
۵۰	۶
۶۵	۱۰
۹۰	۱۶
۱۲۰	۲۵
۱۵۵	۲۵
۱۸۵	۵۰
۲۴۰	۷۰
۳۰۵	۹۵
۳۵۵	۱۲۰
۴۲۵	۱۵۰
۴۷۰	۱۸۵
۵۴۵	۲۴۰
۶۵۰	۳۰۰

در صورتی که حرارت هوا ۲۵ درجه نباشد جريان های مجاز داده شده در جدول ۵-۵ را با ضرایب جدول ۵-۶ تصحیح می کنیم.

جدول ۵-۶: ضرایب تصحیح جريان مجاز

درجہ حرارت	ضریب تصحیح
۵۵	۵۰
۴۵	۴۰
۳۵	۳۰
۳۰	۲۰
۰/۳۸	۰/۵۳
۰/۶۵	۰/۷۵
۰/۸۵	۰/۹۲

۴-۵- جريان مجاز سيمها و كابل های آلومينیومی

به طوری که قبلًا گفته شده است مقاومت ویژه آلومینیوم $1/65$ برابر مقاومت ویژه مس است و لذا جريان مجاز سيمهای عايق دار و كابل های آلومينيومي از سيمها و كابل های مسی هم اندازه آنها کمتر است. در صورتی که جريان مجاز يك سيم عايق دار با كابل مسی را I آمپر فرض کنیم و جريان سيم عايق دار یا كابل آلومینیومی هم اندازه آن را I' فرض کنیم با مساوی قرار دادن توان حرارتی ایجاد شده در يك متر طول آنها رابطه زیر حاصل می شود :

$$\frac{\rho_c I^2}{a} = \frac{\rho_a I'^2}{a}$$

در رابطه بالا ρ_c و ρ_a به ترتیب مقاومت ویژه مس و آلومینیوم و a سطح مقطع سيم یا كابل است. با توجه به نسبت مقاومتهای ویژه مس و آلومینیوم رابطه بالا از این قرار می شود :

$$I^2 = 1.65 I'^2$$

و يا

$$I' = 0.778I$$

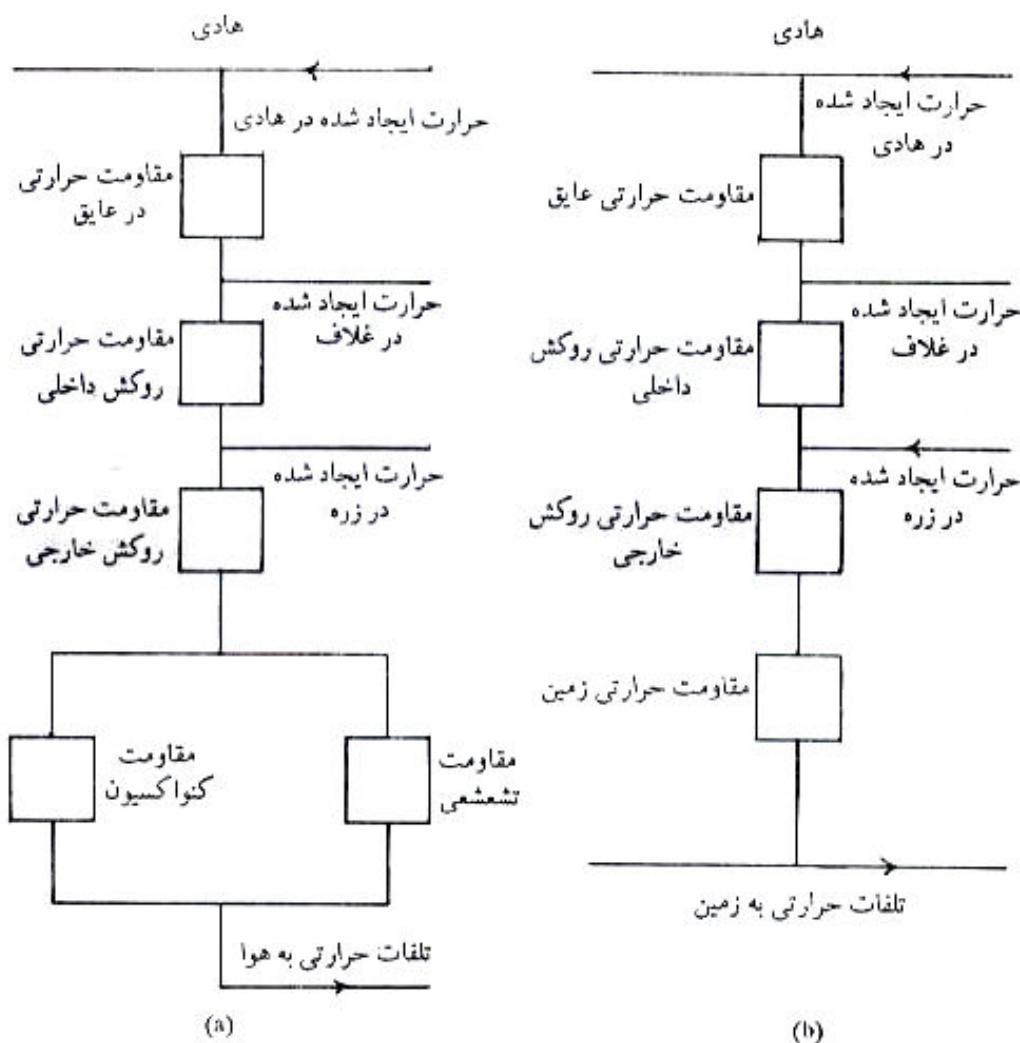
(1-5)

رابطه بالا نشان می دهد که جريان مجاز كابلها يا سيمها ي عايق دار آلومينيومي ۷۷/۸ درصد جريان مجاز كابلها و سيمها عايق دار و كابلهاي آلومينيومي را می توان از طريق ضرب مقاديرى جداول مربوط به هادي های مسی در ضریب ۷۷/۸ به سهولت محاسبه کرد.

۵-۵- تحليل مسئله انتقال حرارت

به طوری که می دانیم حرارت ایجاد شده در کابل در حین کار باید به فضای اطراف منتقل شود به طوری که درجه حرارت عایق آن از حداقل مجاز که بستگی به نوع عایق دارد متباوز نگردد.

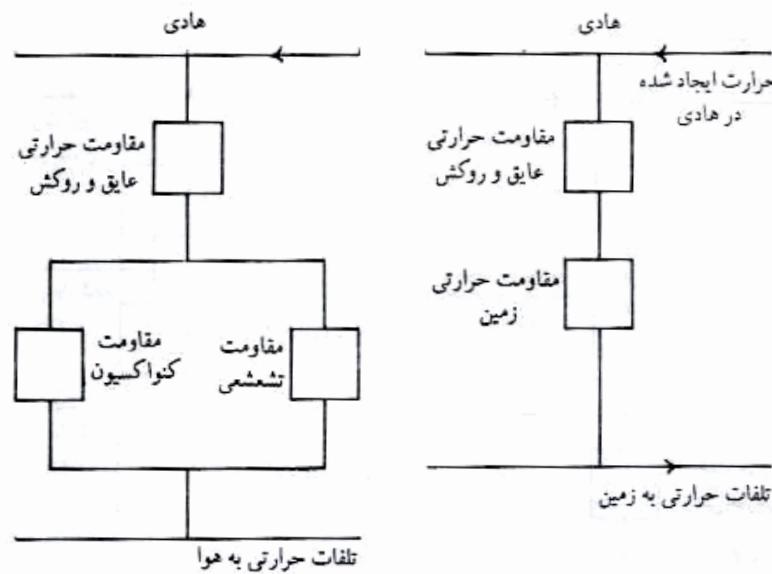
حرارت بیشتر در هادی حامل جريان ایجاد می شود، لیکن مقداری هم در غلاف فلزی و زره فلزی ممکن است در اثر القاء ایجاد شود. در کابلهاي سه سيمي يا چهار سيمي که جريانهاي سه فاز حمل می کنند، مجموع جريانهاي پيوسته برابر صفر است و اثرات القائي، قابل صرفنظر می باشند. لیکن در کابلهاي يك سيمي اثرات القائي قابل ملاحظه می باشند و لذا به ندرت کابلهاي يك سيمي را مجهر به غلاف يا زره می بینيد. انتقال حرارت به فضای خارج از طريق هدايت ، کتواكسيون و تشعيش انجام می پذيرد. شکل ۱-۵ نحوه ایجاد حرارت و انتقال آن را در حالات کلی در کابل واقع در هوا و در زيرزمين نشان می دهد.



شکل ۵ - ۱ : نحوه ایجاد و انتقال حرارت در کابل واقع در هوا و زیرزمین

(a) هوا (b) زیرزمین

PowerEn.ir در صورتی که از حرارت ایجاد شده در غلاف فلزی و زره فلزی صرفنظر کنیم شکل ۵-۱ به صورت ساده تر زیر در می آید:



شکل ۵ - ۲ : ایجاد و انتقال حرارت در کابلها

۵-۱-۵- انتقال حرارت به وسیله هدایت

قانون انتقال حرارت به وسیله هدایت در حالت تعادل شبیه قانون هدایت جریان برق است.

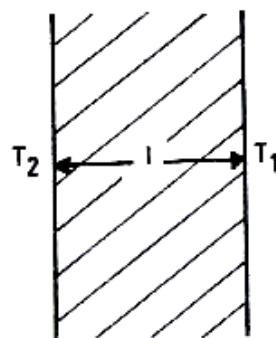
در صورتی که دو دیواره با وسیله حرارت‌های T_1 و T_2 را مطابق شکل ۳-۵ در نظر بگیرید میزان توان حرارتی Q بر حسب وات که از دیوار عبور می کند با اختلاف درجه حرارت دو طرف متناسب است. این رابطه را معمولاً به صورت زیر می نویسیم :

$$Q = \frac{T_2 - T_1}{S}$$

مالحظه می کنید که رابطه بالا صورت قانون اهم را به خود گرفته که در آن درجه حرارت نقش ولتاژ، توان حرارتی نقش جریان و مقاومت حرارتی نقش مقاومت الکتریکی را ایفا می کنند. به همان ترتیبی که مقاومت الکتریکی تابع جنس و وضعیت هندسی مدار است مقاومت حرارتی نیز تابع مقاومت حرارتی ویژه ρ ، طول دیوار و مساحت دیوار است. نظر به اینکه A متر مربع از سطح دیوارها مورد نظر ماست S به قرار زیر می شود:

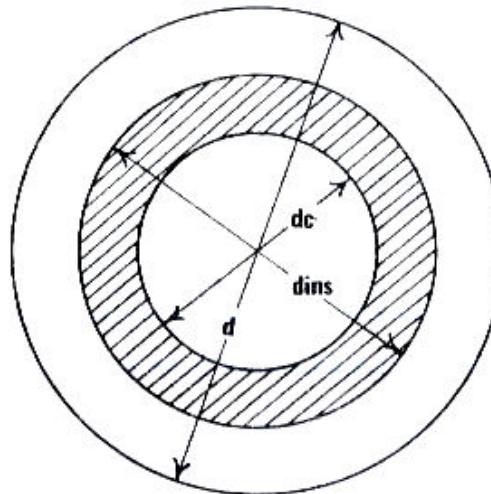
$$S = \frac{\rho I}{A}$$

در روابط بالا a بر حسب وات، S بر حسب درجه سانتیگراد بر وات و ρ بر حسب درجه سانتیگراد متر بر وات است.



شکل ۵ - ۳ : تماش انتقال حرارت به وسیله هدایت

حالا یک کابل یک سیمی را مطابق شکل ۴-۵ در نظر بگیرید. قطر هادی برابر d_c متر، قطر عایق برابر d_{ins} متر و قطر خارجی کابل برابر d متر است. ضرایب مقاومت حرارتی ویژه عایق و غلاف را به ترتیب ρ_{ins} و ρ_{sh} درجه سانتیگراد متر بر وات می نامیم.



شکل ۵ - ۴: مقطع کابل یک سیمی

در این صورت برای محاسبه کل مقاومت حرارتی کابل برای یک متر طول کابل لازم است دو انتگرال به شرح زیر را محاسبه کرد.

$$S_C = \int_{d_c/2}^{d_{ins}/2} \frac{\rho_{ins} dr}{2\pi r \times 1} + \int_{d_{ins}/2}^{d/2} \frac{\rho_{sh} dr}{2\pi r \times 1}$$

$$S_C = \frac{\rho_{ins}}{2\pi} \ln \frac{\rho_{ins}}{d_c} + \frac{\rho_{sh}}{2\pi} \ln \frac{d}{d_{ins}} \quad (4-5)$$

در صورتی که کابلی با قطر خارجی d متر در عمق h متر در زیرزمین با ضریب مقاومت حرارتی ویژه ρ_g نصب شود مقاومت حرارتی در واحد طول به این قرار می شود.

$$S_g = \frac{\rho_g}{2\pi} \ln \frac{4h}{d} \quad (5-5)$$

رابطه بالا مقاومت حرارتی بین سطح کابل تا محل تصویر کابل نسبت به سطح زمین است که با جواب مسئله واقعی یکسان است. (نظیر حل مسائل الکترواستاتیک از طریق بارهای تصویری). بنابراین در مورد کابل زیر زمینی مقاومت حرارتی کل از مجموع مقاومت حرارتی کابل از معادله (۴-۵) و مقاومت حرارتی زمین از رابطه (۵-۵) به دست می آید.

۵-۲-۵-۵- انتقال حرارت به وسیله کنواکسیون و تشعشع

در صورتی که کابلی با قطر خارجی d متر و درجه حرارت T_0 در هوای آزاد با درجه حرارت T_a قرار داشته باشد، مقداری حرارت از طریق کنواکسیون و مقداری توسط تشعشع انتقال می یابد. به منظور انجام محاسبات مقاومت حرارتی معادل S_{eq} که این دو اثر که به طور موازی عمل می کنند را در بر می گیرد به صورت زیر تعریف می کنیم.

$$S_{eq} = \frac{1}{\pi d(a_c + a_r)}$$

a_c ضریب انتقال حرارت از طریق کنواکسیون بر حسب وات بر متر مربع بر درجه سانتیگراد است و به طور تجربی به صورت زیر به دست می آید.

$$a_c = \left(\frac{0.0185}{d} + 1.081^4 \sqrt{\frac{T_0 - T_a}{d}} \right)$$

در رابطه بالا جمله اول مربوط به ضریب انتقال لایه کوتاه هوا روی سطح کابل و جمله دوم ضریب انتقال حرارت به وسیله کنواکسیون از جسم استوانه ای شکل به قطر d متر و درجه حرارت سطحی T_0 واقع در هوای T_a درجه است.

a_r ضریب انتقال حرارت به صورت تشعشع بر حسب وات بر متر مربع بر درجه سانتی گراد است. مطابق قانون تشعشع یک جسم گداخته که به قانون تشعشع وین^۱ معروف است توان تشعشعی از هزار متر مربع سطح یک جسم گداخته در T_0 درجه سانتی گراد و واقع در محیط T_a درجه سانتی گراد برابر است با:

$$Q = 5.77 \times 10^{-8} \in_0 \{(273 + T_0)^4 - (273 + T_a)^4\}$$

در معادله بالا 5.77×10^{-8} ضریب ثابت بولتزمن^۲ و \in_0 ضریب تشعشع سطح و عددی نزدیک به یک است. لذا a_r که توان تشعشعی از واحد سطح به ازای درجه اختلاف درجه حرارت است برابر می شود.

$$a_r = \frac{5.77 \times 10^{-8} \in_0 \{(273 + t_0)^4 + (273 + ta)^4\}}{t_0 - t_a}$$

صورت رابطه بالا میزان تشعشع حرارت است و پس از تقسیم بر اختلاف درجه حرارت ضریب انتقال حرارت به صورت تشعشع به دست آمده است. در رابطه بالا \in_0 ضریب تشعشع سطح است که بستگی به رنگ سطح کابل دارد. حداکثر مقدار \in_0 یک است و در مورد روکش پی وی سی 0.95 در نظر گرفته می شود.

۵- محاسبه جريان مجاز

حرارت تولید شده در کابل n سیمی که هر سیم ان جريان I حمل می کند از این قرار است:

$$Q = nRI^2$$

در رابطه بالا R مقاومت موثر هر سیم در درجه حرارت کار سیم در واحد طول است و لذا Q حرارت ایجاد شده بر حسب وات در متر طول می باشد. این حرارت تولید شده باید با حرارت تلف شده برابر باشد. در صورتی که مقاومت حرارتی کل را در واحد طول S_t بنامیم و اختلاف درجه حرارت هادی و فضا را با ΔT نشان دهیم نتیجه زیر به دست می آید:

$$nRI^2 = \frac{\Delta T}{S_t}$$

و یا جريان مجاز چنین می شود:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta T}{nRS_t}} \quad (9-5)$$

مثال ۱-۵

یک کابل یک سیمی ۵۰ میلیمتر مربع با عایق پی وی سی به ضخامت $1/4$ میلیمتر و غلاف پی وی سی به ضخامت $1/6$ میلیمتر و قطر خارجی 14 میلیمتر در عمق 70 سانتیمتر در زمین 20 درجه انداخته شده است. جريان مجاز کابل را حساب کنید. مقاومت حرارتی ویژه pvc ، 6 درجه سانتیگراد متر بر وات و مقاومت حرارتی ویژه زمین 1 درجه سانتیگراد متر بر وات می باشد. مقاومت موثر الکتریکی سیم در حرارت کار 70 درجه (درجه حرارت مجاز پی وی سی) برابر 0.453×10^{-3} اهم در متر طول است.

¹. Wien Law Of radiation

². Boltzman's Constant

قطر هادی برابر ۸ میلیمتر و قطر خارجی کابل در حدود ۱۴ میلیمتر است. مقاومت حرارتی کابل در واحد طول مقابله (۴-۵) از این قرار است:

$$S_c = \frac{6}{2\pi} \ln \frac{14}{8} = 0.534$$

مقاومت حرارتی زمین در واحد طول کابل مطابق رابطه (۵-۵) از این قرار است:

$$S_g = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{700 \times 4}{14} = 0.843$$

مقاومت حرارتی کل در واحد طول چنین است:

$$S_t = 0.534 + 0.843 = 1.377$$

بنابراین جریان مجاز مطابق رابطه (۵-۹) از این قرار است:

$$I = \sqrt{\frac{50}{1 \times 0.453 \times 10^{-3} \times 1.377}} = 283$$

که در جدول ۳-۵، ۲۸۰ آمپر آمده است.

مثال ۲-۵

کابل یک سیمی ۵۰ میلیمتر مربع مثال ۷-۲ در هوای ۳۰ درجه نصب شده است. جریان مجاز کابل را در حرارت کار ۷۰ درجه محاسبه کنید.

مقاومت حرارتی کابل همان مقدار قبلی را خواهد داشت. برای محاسبه مقاومت هوا با فرض اینکه T_0 برابر ۵۵ درجه سانتیگراد باشد به ترتیب زیر عمل می کنیم:

$$a_c = \frac{0.0185}{14 \times 10^{-3}} + 1.0814 \sqrt{\frac{55 - 30}{14 \times 10^{-3}}} \times 8.35$$

با فرض T_0 برابر ۵۵ درجه و $a_r = 0.95$ چنین می شود:

$$a_r = 5.77 \times 10^{-8} \times 0.95 \left[\frac{(273+55)^4 - (273+30)^4}{55-30} \right] = 6.90$$

لذا

$$S_{eq} = \frac{1}{\pi \times 14 \times 10^{-3} (6.90 + 8.35)} = 1.49$$

لذا مقاومت کل از این قرار است

$$S_t = 0.534 + 1.49 = 2.02$$

با استفاده از رابطه (۱۳-۲) جریان مجاز از این قرار می شود:

$$I = \sqrt{\frac{40}{1 \times 0.453 \times 10^{-3} \times 2.02}} = 209$$

که در جدول ۲۱۵ آمپر آمده است. توجه داشته باشید که T_0 را برابر ۵۵ درجه انتخاب کردیم که ممکن است انتخاب کاملاً درستی نباشد. البته حالا می توانیم این فرض را بررسی کنیم و در صورتی که درست نباشد در T_0 تغییر بدھیم و محاسبات را تکرار کنیم تا جواب دقیقتری به دست آید.

$$T_0 = 70 - (70 - 30) \left(\frac{0.534}{2.02} \right) = 59.43$$

حال اگر محاسبات را برای T_0 برابر ۷۰ درجه تکرار کنیم، جریان مجاز $211/5$ آمپر به دست می آید. جریان مجاز در جدول ۳-۵ برابر ۲۱۵ آمپر آمده است.

مثال ۳-۵

جريان مجاز يك سيم ۲/۵ يك رشته اي با عايق pvc واقع در هوای ۲۵ درجه را تعیین کنيد. با مراجعه به جدول ۲-۲ ملاحظه می کنیم که قطر هادی این سیم ۱/۷۸ میلیمتر و قطر خارجی آن ۳/۴ میلیمتر حرارتی کابل از این قرار است.

$$s_c = \frac{6}{2\pi} \ln \frac{3.4}{1.78} = 0.615$$

با فرض درجه حرارت ۵۵ برای سطح خارجی سیم عايق دار و برابر ۰/۹۵

$$a_c = \frac{0.0185}{3.4 \times 10^{-3}} + 1.081 \sqrt{\frac{55 - 25}{3.4 \times 10^{-3}}} = 15.92$$

$$a_c = 5.77 \times 10^{-8} \times 0.95 \frac{(273 + 55)^4 - (273 + 25)^4}{55 - 25} = 6.74$$

لذا

$$s_{eq} = \frac{1}{\pi \times 3.4 \times 10^{-3} \times (15.92 + 6.74)} = 4.132$$

بنابراین مقاومت کل از این قرار است:

$$s_r = 4.132 + 0.615 = 4075$$

لذا جريان مجاز از اين قرار است:

$$I = \sqrt{\frac{45}{1 \times 8.54 \times 10^{-3} \times 4.75}} = 33.31$$

که در جدول ۱-۵ برابر ۳۴ آمپر آمده است.

لازم است صحت فرض درجه حرارت سطح کابل برابر ۵۵ درجه را بررسی کنیم.

$$T_0 = 70 - (70 - 25) \left(\frac{0/615}{4/75} \right) = 64/17$$

اگر محاسبات رابراي T_0 برابر ۶۴ درجه تکرار کنیم جريان مجاز ۳۳/۹۴ آمپر نتيجه می شود.

مثال ۴-۵

جريان مجاز سیم هوایی مسی بدون عايق ۳۵ میلیمتر مربع را در هوای ۲۵ درجه حساب کنید. حرارت سیم نباید از حد اکثر ۶درجه متجاوز گردد. مقاومت موثر سیم در حرارت کار ۶۰ درجه برابر 5.93×10^{-4} اهم در متر طول است.

چون سیم بدون عايق بوده و در هوا واقع است تنها و را لازم است محاسبه کنیم . قطر سیم از این قرار است:

$$\frac{\pi}{4} d^2 = 35 \Rightarrow d = 6.68 \text{ mm}$$

$$a_c = \frac{0.0185}{6.68 \times 10^{-3}} + 1.081 \sqrt{\frac{35}{6.68 \times 10^{-3}}} 15.92 = 11.97$$

با احتساب $s_r = 0/90$ برابر

$$a_r = 5.77 \times 10^{-8} \times 0.9 \frac{(273 + 90)^4 - (273 + 25)^4}{60 - 25} = 6.54$$

$$s = \frac{1}{\pi \times 6.68 \times 10^{-3} (11.97 + 6.54)} = 2.57$$

$$I = \sqrt{\frac{35}{2.57 \times 5.93 \times 10^{-4}}} = 151.54$$

که در جدول ۴-۵ برابر ۱۵۵ آمپر آمده است.

مسائل فصل پنجم

- ۱- جريان مجاز يك سيم ۴ ميليمتر مربع مسی با عايق pvc را در هواي ۴۰ درجه حساب کنيد و با مقادير داده شده در جداول ۱-۵ و ۵-۲ مقاييسه کنيد.
- ۲- در يك كابل ۴×۲۵ با هاديهای مسی قطاعی با عايق pvc ضخامت عايق روی هر سيم ۱/۲ ميليمتر، ضخامت غلاف pvc ۱/۸ ميليمتر و قطر خارجي كابل ۲۶/۸ ميليمتر است. مقاومت هر سيم در حرارت کار ۷۰ درجه ۰/۸۶۳ اهم در کيلومتر است. جريان مجاز هر سيم كابل را برای نصب در عمق ۷۰ سانتيمتر در زمين ۲۰ درجه و ۳۵ درجه محاسبه، و با مقادير داده شده در جداول ۳-۵ و ۵-۴ مقاييسه کنيد.
- ۳- در يك كابل ۴×۵ با هاديهای مسی قطاعی با عايق pvc ، ضخامت عايق روی هر سيم ۱/۴ ميليمتر، ضخامت غلاف pvc ۲ ميليمتر و مقاومت هر سيم در حرارت کار ۷۰ درجه ۰/۴۶۴ اهم در کيلومتر است . جريان مجاز هر سيم را در هواي ۳۰ درجه محاسبه ، و با مقدار داده شده در جدول ۳-۵ مقاييسه کنيد.
- ۴- برای کابلهای خوابانده در زمين اگر درجه حرارت زمين به جاي ۲۰ درجه ، T_0 درجه باشد، نشان دهيد که ضريب تصحیح چنین است.

$$\sqrt{\frac{70-t_g}{70-20}}$$

- آيا ضرایب تصحیح جدول ۴-۵ از این فرمول تبعیت می کنند؟ آیا این رابطه در مورد سیمهای واقع در هوا هم صادق است؟
- ۵- جريان مجاز هر سيم يك كابل چهار سيمي برای نصب در عمق ۷۰ سانتيمتر در درجه حرارت زمين ۲۰ درجه ۲۰۰ آمپر است . جريان مجاز اين كابل را برای نصب در عمق ۴۰ سانتيمتر در زمين ۲۰ درجه تخمين بزنيد.
 - ۶- فرمول مقاومت حرارتی زمين رابراي کابلي به قطر خارجي d که در عمق h در زمين به مقاومت حرارتی ویژه ρ_g نصب شده است را به دست اوريد. دليل فيزيکي افزایش مقاومت حرارتی يا عمق چيست؟ چرا مقررات حداقل عمق ۷۰ سانتيمتر را توصيه می کنند.
 - ۷- جريان مجاز هر سيم كابل مسی ۳×۲۵ با هادي قطاعی بدون زره در عمق ۷۰ سانتيمتر در زمين ۲۰ درجه ۱۳۰ آمپر است.
 - الف- مقاومت حرارتی برای هر سيم كابل را معین کنيد. سهم عايق و زمين به تفکيك چقدر است؟
 - ب- جريان مجاز اين كابل برای نصب در عمق ۳۰ سانتيمتر در زمين ۲۰ درجه چقدر است؟
 - پ- چرا جريان مجاز با افزایش عمق نصب کاهش می یابد؟ چرا مقررات عمق ۷۰ سانتيمتر را توصيه می کنند؟
 - ۸- سيمي با عايق پی وی سی به قطر هادي d_c و قطر خارجي d_0 در عمق h به مقاومت حرارتی ویژه ρ_g در زمين خوابانده شده است.

الف: نشان دهيد که مقاومت حرارتی زمين در واحد طول برابر است با:

$$s_g = \frac{\sigma_g}{2\pi} \ln \frac{4n}{d_0}$$

ب- حرارت تولید شده در سيم به کجا دفع می شود. با ترسیم مسیر انتقال حرارت نحوه دفع حرارت را نشان دهيد.

فصل ششم

تعیین مقاطع سیم‌های عایق دار و کابلها

مقاطع سیم‌های عایق دار و کابلها توسط جریان مجاز و حداکثر افت ولتاژ مجاز معین می‌شود. جریان مجاز سیمها و کابلها و عوامل تعیین کننده آن را در فصل پنجم دیده ایم و لذا به طوری که خواهیم دید انتخاب مقاطع صحیح بر این اساس تنها مستلزم محاسبه جریان مدار و استفاده از جداول مربوط می‌باشد. انتخاب مقاطع صحیح براساس افت ولتاژ مستلزم اشنایی با ضوابط مربوط و محاسبه افت ولتاژ است که در قسمت دوم این فصل بررسی می‌شود.

بارهای روشنایی در مکانهای مسکونی؛ تجاری و صنعتی عموماً از مدارهای تک فاز تغذیه می‌شوند. موتورهای کوچک که در وسایل خانگی مثل کولرهای، ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، یخچال، یخزن، چرخ گشت، آبمیوه گیری و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند، تک فاز هستند. بسیاری از موتورها که در وسایل الکتریکی مراکز تجاری مانند کولرهای، پنکه‌ها و آب سردکنها مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز تک فاز هستند. موتورهای بزرگ صنعتی غالباً سه فاز هستند. در قسمتهای این فصل انشعابهای تک فاز و سه فاز را به تفکیک در نظر می‌گیریم.

۶-۱- تعیین مقاطع سیمها و کابلها براساس جریان مجاز

۶-۱-۱- مدارهای تک فاز

در بارهای روشنایی توانهای قید شده توان ورودی بوده و جریان این گونه مدارها از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{W}{v \cos \phi} \quad (6-1)$$

در رابطه بالا W توان ورودی بار متصل به مدار بر حسب وات، V ولتاژ مدار بر حسب ولت $\cos \phi$ ضریب توان مدار می‌باشد. در مورد چراغهای رشته دار ضریب توان برابر یک و در مورد لامپهای فلورسنت مجهز به خازن اصلاح ضریب توان در حدود 0.9 و در مورد لامپهای فلورسنت غیر مجهز 0.5 تا 0.6 است.

در محاسبه جریان از رابطه (6-1) فرض براین است که کلیه چراغها به طور همزمان مورد استفاده قرار می‌گیرند که در عمل چنین نیست و همه چراغهای متصل به یک مدار به ندرت به طور همزمان روشن می‌شوند. نسبت حداکثر توان مصرفی همزمان را به کل توان بارهای متصل ضریب مصرف یا ضریب همزمانی می‌گوییم و آن را با k_d نشان می‌دهیم. با به کار گرفتن این ضریب معاده (6-1) به صورت زیر در می‌آید:

$$I = k_d \frac{W}{v \cos \phi}$$

ضریب مصرف برای بارهای روشنایی مختلف را به صورتی که در جدول ۱-۶ آمده است در نظر می‌گیریم. سوال مهم دیگر که در تعیین مقطع انشعباب یا انشعبابها تاثیر دارد این است که حداکثر چند لامپ را می‌توان روی یک انشعباب قرار داد. مثلاً در یک خانه مسکونی استفاده از یک مدار روشنایی کافی است و یا اینکه لازم است از مدارهای متعدد استفاده به عمل آید. شک نیست که استفاده از یک انشعباب ارزانتر تمام می‌شود لیکن در این صورت اتصال کوتاه در سر پیچ یکی از لامپها سبب قطع فیوز و در تاریکی فرو رفتن همه خانه خواهد شد. هر چه تعداد انشعبابها را بیشتر کنیم ضریب اطمینان افزایش می‌یابد، لیکن هزینه نیز بالا می‌رود. براساس ضوابط بسیاری از کشورها با روشنایی بیشتر از صد متر مربع را هیچگاه روی یک انشعباب قرار نمی‌دهند. در بعضی مقررات حتی برابر هر ۵۰ متر مربع یک انشعباب جداگانه در نظر گرفته می‌شود. در ساختمانهای دو طبقه اگر چه کوچک باشند، بهتر است برای هر طبقه از انشعبابهای جداگانه استفاده شود. براساس همین مقررات جریان هر انشعباب روشنایی نباید در هر حال از ۱۵ آمپر مجاور گردد.

جدول ۱-۶: ضریب مصرف بارهای روشنایی

نوع بار روشنایی	ضریب مصرف
مدار روشنایی خانگی	۱/۰
مدار روشنایی مراکز صنعتی مراکز از قسمتهای بزرگ مجاور هم	۰/۹۵
مدار روشنایی مراکز صنعتی مرکب از قسمتهای بزرگ	۰/۸۵
مدار روشنایی انبارهای بزرگ	۰/۳۵
مدار روشنایی مراکز تجاری	۰/۹۵
مدار روشنایی مخلوط روشنایی و وسائل خانگی	۰/۸۰

مثال ۱-۶

محاسبات روشنایی لزوم استفاده از ۵۰ لامپ ۱۰۰ ولتی را در یک خانه مسکونی نشان می‌دهد. جریان انشعباب یا انشعبابها لازم و اندازه سیم مناسب برای سیم کشی در لوله را معین کنید. محیط را ۳۵ درجه و مساحت خانه را ۱۸۰ متر مربع فرض کنید. با استفاده از رابطه (۲-۶) جریان مربوط از این قرار است:

$$I = 1 \times \frac{50 \times 100}{220} = 22.73$$

براساس ضوابط یاد شده استفاده از حداقل دو انشعباب الزامی است و جریان هر انشعباب چنین است:

$$22.73 / 2 = 11.37$$

با توجه به درجه حرارت محیط ۳۵ درجه و استفاده از ضریب تصحیح از جدول ۲-۵ ظرفیت سیم در ۲۵ درجه باید چنین باشد.

$$11.37 / 0 = 12.91$$

با استفاده از جدول (۱-۵) سیمهای ۱/۵ در لوله با ظرفیت مجاز ۱۶ آمپر در حرارت ۲۵ درجه انتخاب می‌شود. در مقررات بسیاری از کشورها برای داشتن استحکام مکانیکی کافی از سیم کوچکتر از ۱/۵ در لوله استفاده نمی‌شود. موتورهای کوچک در حدود یک کیلووات یا کمتر از نوع القابی با رتور قفسی در کلیه وسائل خانگی و نیز در مراکز تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این موتورها در مراکز صنعتی کوچک مانند کارگاهها نیز برای گرداندن ماشین الات کوچک و ابزار کار برقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جریان یک موتور تک فاز با ظرفیت اسمی W وات با استفاده از رابطه زیر به دست می‌اید.

$$I = \frac{W}{v \eta \cos \phi} \quad (3-6)$$

در رابطه بالا W توان خروجی موتور برحسب وات، v ولتاژ مدار تغذیه برحسب وات و η راندمان موتور و ϕ ضریب قدرت موتور می‌باشد. راندمان این موتورها $0.5/0.7$ تا $0.6/0.7$ می‌باشد. تنها در یک نوع از این موتورها که در حالت

کار خازنی در مدار دارند، ضریب قدرت تا 0.9 بالا می رود. در برخی استانداردها، بخصوص استاندارد آمریکایی ظرفیت انشعاب را $1/25$ برابر مقدار محاسبه شده در نظر می گیرند. این کار به این علت انجام می شود که موتورهای ممکن است برای مدت‌های محدود بار اضافی حمل کنند. توجه کنید که جریان راه اندازی موتورها که در حدود 7 برابر جریان نامی است چون تنها مدت کوتاهی برقرار است ملاک تعیین مقاطع سیمها و کابلها نمی باشد.

در برق کشی خانه ها و سایل موتوردار کوچک را به پریزهای معمولی متصل می کنیم، لیکن برای هر یک از بارهای بزرگتر نظری ماشین لباسشویی، ظرفشویی، یخچال و یخزن بهتر است از انشعابهای مستقل استفاده شود.

مثال ۲-۶

یک ماشین لباسشویی به ظرفیت $1/5$ کیلو وات 220 ولت از طریق سیم با عایق پلاستیکی واقع در لوله تغذیه می شود. مقطع سیم را با توجه به حرارت محیط 40 درجه محاسبه کنید.

با فرض ضریب توان 0.7 و راندمان 0.6 جریان چنین می شود:

$$I = \frac{1500}{220 \times 0.6 \times 0.7} = 16.23$$

از جدول ۲-۵ ضریب تصحیح را برابر 0.82 به دست می آوریم. بنابراین ظرفیت سیم در حرارت 25 درجه چنین است:

$$16.23 / 0.82 = 19.79$$

با استفاده از جدول ۱-۵ کابل $2/5$ ولت جریان مجاز 21 آمپر اختیار می شود.

۲-۱ مدارهای سه فاز

بیشتر بارهای صنعتی را موتورهای القایی سه فاز با رتور قفسی تشکیل می دهند. البته در برخی موارد محدود نیز از موتورهای برق مستقیم، موتورهای سنکرون و یا موتورهای القایی با رتور سیم پیچی استفاده به عمل می آید. جریان خط یک مotor سه فاز در حالت کار در ظرفیت اسمی آن از این قرار است:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3}v\eta \cos\phi} \quad (4-6)$$

در رابطه بالا W توان اسمی مotor بر حسب وات، V ولتاژ خط بر حسب ولت، η راندمان motor و $\cos\phi$ ضریب توان motor می باشد. راندمان بستگی به ظرفیت motor و سرعت آن دارد و در موتورهای بزرگتر با سرعت بیشتر دارای مقدار بزرگتری است. ضریب توان motor نیز تابع قدرت و سرعت آن می باشد. البته رابطه (۴-۶) جریان اسمی motor را در حالت کار به دست می دهد، لیکن به طوری که می دانیم جریان این گونه motoreها در لحظه شروع کار ممکن است از 5 تا 7 برابر این مقدار باشد. جریان شروع برای مدت کمی برقرار است و سبب ایجاد حرارت زیاد در سیمهای نمی شود و لذا در محاسبه مقطع اشناعاب در نظر گرفته نمی شود. در برخی استانداردها بخصوص استاندارد آمریکایی ظرفیت اشناعاب را $1/25$ برابر جریان اسمی motor اختیار می کنند. این عمل به علت اینکه motoreها ممکن است برای مدتی محدود مقداری بار اضافی حمل کنند انجام می شود. تغییرات راندمان و ضریب توان motoreای سه فاز القایی با رتور قفسی با ظرفیت و سرعتهای مختلف در جدول ۲-۶ امده است.

مثال ۳-۶

کابلی با عایق پلاستیکی در زیر زمین نصب شده و یک motor القایی سه فاز دو قطب با رتور قفسی 10 کیلو وات 380 ولت را تغذیه می کند. مقطع مناسب کابل را با فرض حرارت زمین برابر 20 درجه حساب کنید.

با استفاده از جدول ۲-۶

$$\eta = 0.86$$

$$\cos\phi = 0.87$$

با استفاده از معادله (۴-۶)

$$I = \frac{10 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.86 \times 0.87} = 20.31$$

با استفاده از جدول ۳-۵ کابل ۱/۵ با ظرفیت مجاز ۲۷ آمپر مناسب است.
در بسیاری مراکز صنعتی یک انشعاب اصلی تعدادی موتور را تغذیه می کند که به ندرت به طور همزمان کار می کنند. در این موارد برای محاسبه جریان انشعاب و تعیین مقطع کابل می توان از ضریب مصرف همزمان مطابق جدول ۳-۶ استفاده نمود.

جدول ۲-۶ راندمان و ضریب قدرت موتورهای القایی سه فاز رتور قفسی

جریان مجاز (آمپر)	سطح مقطع (میلیمتر مربع)
۵۰	۶
۶۵	۱۰
۹۰	۱۶
۱۲۰	۲۵
۱۵۵	۳۵
۱۸۵	۵۰
۲۴۰	۷۰
۳۰۵	۹۵
۳۵۵	۱۲۰
۴۲۵	۱۵۰
۴۷۰	۱۸۵
۵۴۵	۲۴۰
۶۵۰	۳۰۰

جدول ۳-۶: ضریب مصرف همزمان تعدادی موتور

تعداد موتورها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱۰
ضریب مصرف همزمان	۱	۱	۱	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۰

مثال ۴-۶

یک کابل پلاستیکی ۴ رشته ای، سه موتور سه فاز القایی چهار قطبی با رتور قفسی ۵ کیلو وات ۳۸۰ ولت را تغذیه می کند. کابل روکار نصب شده و حداکثر حرارت محیط ۵۰ درجه است. مقطع کابل را تعیین کنید.
با استفاده از جدول ۳-۶ ضریب مصرف همزمان برابر ۰/۹ به دست می اید. با استفاده از جدول ۲-۶ راندمان برابر ۰/۸۳ و ضریب توان برابر ۰/۷۴ است. با استفاده از معادله (۴-۶) با احتساب ضریب مصرف ۰/۹ جریان انشعاب چنین است.

$$I = 0.9 \times \frac{3 \times 5 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.83 \times 0.74} = 33.39$$

با استفاده از جدول ۴-۵ برای درجه حرارت ۵ درجه ضریب تصحیح ۰/۷۱ است، بنابراین جریانی که کابل در حرارت ۳۰ درجه حمل می کند از این قرار می شود:

$$33.39 / 0.71 = 47.76$$

با استفاده از جدول ۳-۵ کابل با مقطع ۱۰ میلیمتر مربع با ظرفیت ۶۰ آمپر در هوای ۳۰ درجه انتخاب می کنیم. در شرایط اضطراری استفاده از کابل ۶ میلیمتر مربع با ظرفیت ۴۴ آمپر در هوای ۳۰ درجه نیز اشکال به بار نمی آورد.

۶-۲- تعیین مقاطع سیمهای و کابلها بر اساس افت ولتاژ مجاز

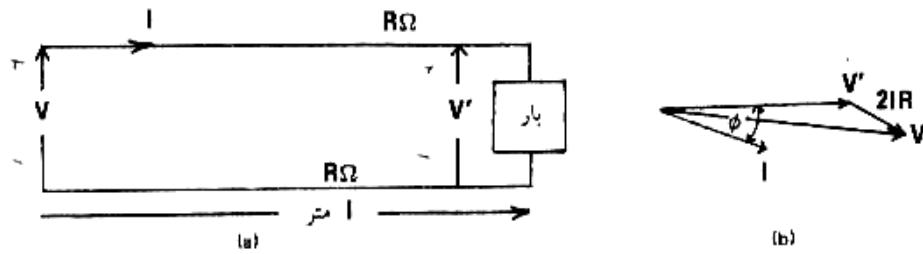
به طوری که می دانید ولتاژ استاندارد تک فاز و سه فاز در ایران به ترتیب ۲۲۰ ولت و ۳۸۰ ولت می باشد. در صورتی که ولتاژ از این مقادیر اسمی به طور قابل ملاحظه افزایش یابد، خرابیهایی در دستگاههای برقی موجود می اورد، و در صورتی که از این مقادیر کاهش قابل ملاحظه یابد نیز مشکلات و اختلالاتی در کادر دستگاههای به وجود می آید. در موتورهای برقی توان موتور با محدود ولتاژ مناسب است. در صورتی کم می شود در صورتی که ولتاژ تغذیه یک موتور برقی ۵ درصد افت داشته باشد، توان موتور ۱۹ درصد کاهش می یابد. در مورد لامپهای رشته دار کاهش ولتاژ به اندازه ۵ درصد توان نورانی خروجی را ۱۶ درصد کاهش می دهد و کاهش ولتاژ به اندازه ۱۰ درصد، میزان نور را ۳۰ درصد کاهش می دهد. دلیل این امر این است که با کاهش ولتاژ درجه حرارت کار لامپ شدیداً کاهش می یابد و نور تولید شده، بستگی به درجه حرارت کار لامپ دارد. با توجه به نکات فوق روشن است که در بررسی باید سعی شود از کاهش قابل ملاحظه ولتاژ جلوگیری به عمل آید. البته افت ولتاژ را نمی توان به طور کامل از بین برد و لذا مقررآ حداقل افت ولتاژ مجاز را معین کرده اند. این افت ولتاژ در مورد مدارهای روشناختی ۴ درصد و در مورد مدارهای تغذیه موتورهای ۶ درصد است. معمولاً نیمی از این افت ولتاژ را به شبکه توزیع و نیم دیگر را به سیم کشی داخلی اختصاص می دهند.

افت ولتاژ به علت مقاومت، ضریب خود القایی و ظرفیت خازن مدارها می باشد. در خطوط برق رسانی بخصوص در سیمهای داخل لوله به علت نزدیکی سیمهای دفت و برگشت به یکدیگر اثرات القایی قابل صرفنظر است. همچنین به علت طول کم مدارها اثرات خازن خط نیز قابل صرفنظر است. بنابراین در محاسبات سیم کشی داخلی تنها مقاومت سیمهای در محاسبات وارد می شوند. در محاسبات خطوط برق رسانی هوایی به علت فاصله قابل ملاحظه بین سیمهای مدار از خود القایی نمی توان صرفنظر کرد، لیکن به علت کوتاهی طول اثر خازنی در این موارد هم کوچک و قابل صرفنظر است.

در قسمتهای ذیل ابتدا افت ولتاژ مدارهای تک فاز و سپس افت ولتاژ مدارهای سه فاز برق رسانی داخلی را مورد بررسی قرار می دهیم.

۶-۲-۱- افت ولتاژ در مدارهای تک فاز

مدار تک فازی مطابق شکل ۶-۱ را در نظر بگیرید که دارای طول L متر است و مقاومت هر سیم آن 2Ω اهم می باشد با جریان I آمپر و ضریب توان $\cos\Phi$ را که در انتهای خط متصل است تغذیه می کند.



شکل ۶-۱: مدار تکفاز (a) و نمایش فیزوری آن (b)

در شکل فیزوری ولتاژ دو سربار V به عنوان فیزور مبدأ اختیار شده، و در روی محور افقی ترسیم گردیده است و جریان مدار با فاز تاخیری Φ کشیده شده است. ولتاژ سرخط با توجه به اینکه $2IR$ نسبت به V' خیلی کوچک است تقریباً چنین می شود.

$$V \approx V' + 2IR \cos\phi$$

و بنابراین افت ولتاژ در خط ΔV چنین می شود.

$$\Delta V = 2IR \cos\phi$$

در صورتی که مقاومت ویژه هادی سیم بحسب اهم متر در درجه حرارت کار باشد مقاومت موثر هر سیم به طول L متر از این قرار است:

$$R = \frac{\rho l}{a}$$

در رابطه بالا a مقطع سیم بر حسب متر مربع است.

در صورتی که درصد افت ولتاژ مجاز را با a نشان دهیم رابطه زیر حاصل می شود:

$$a = 100 \times \frac{\Delta v}{v} = \frac{100 \times \frac{2\rho l}{a} I \cos \phi}{v}$$

و یا

$$a = \frac{200 \rho I \cos \phi}{av}$$

روابط بالا مقطع سیم را بر حسب متر مربع برای درصد افت مجاز a به دست می دهد.

مثال ۵-۶

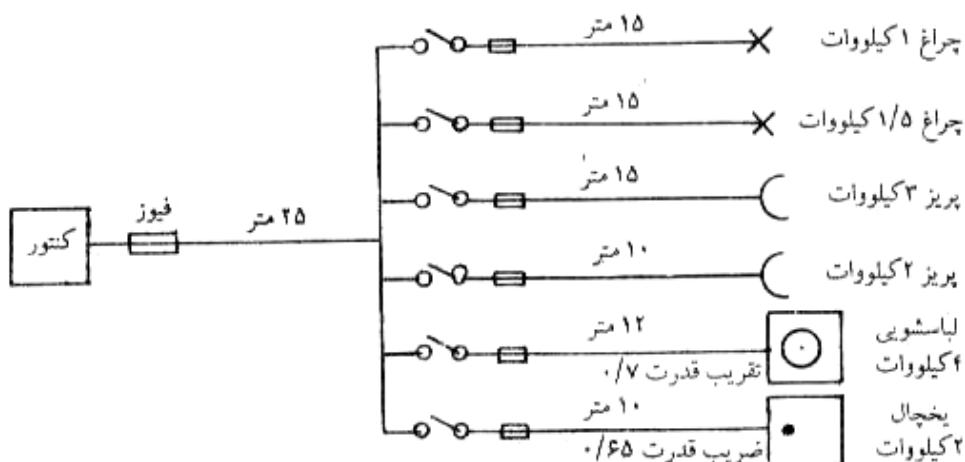
در مثال ۲-۶ فاصله ماشین لباسشویی از تابلو توزیع ۲۰ متر است. آیا مقطع محاسبه شده از نظر افت ولتاژ ۳ درصد کافی است و با استفاده از رابطه (۵-۶) و برابر $10^{-8} \times 2.064 / 2$ اهم متر (مقاومت ویژه مس در ۷۰ درجه) چنین می نویسیم.

$$a = \frac{2002 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 20 \times 16.23 \times 0.7}{3 \times 220} = 1.42 \times 10^{-6} m^2 = 1.42 mm^2$$

بنابراین سیم $2/5$ میلیمتر مربع انتخاب شده از نظر افت ولتاژ نیز مناسب است.

مثال ۶-۶

یک خانه مسکونی که از برق تک فاز استفاده می کند، دارای دو انشعاب برای چراغها، دو انشعاب برای پریزها و دو انشعاب برای یخجال و ماشین لباسشویی مطابق شکل می باشد.



مقاطع سیمهای اصلی و انشعابها را با فرض ۱ درصد افت ولتاژ در خط اصلی و $1/5$ درصد در هر یک از انشعابها تعیین کنید. ضریب مصرف همزمان انشعابهای فرعی را یک و انشعاب اصلی را 0.60 فرض کنید. آیا مقاطع محاسبه شده از نظر جریان مجاز هم مناسبند؟

(۱) برای مدار ورشنایی ۱ کیلو واتی

$$I = \frac{1 \times 1000}{220} = 4.55$$

با استفاده از (۵-۶)

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 15 \times 4.55 \times 1}{1.5 \times 220} = 0.85 \times 10^{-6} m^2 = 0.85 mm^2$$

با استفاده از جدول ۱-۵ سیم ۱ میلیمتر مربع هم از نظر افت ولتاژ و هم از نظر جریان کافی است لیکن از نظر استحکام

مکانیکی از سیم ۱/۵ استفاده می کنیم.

(۲) برای مدار روشنایی ۱/۵ کیلو واتی

$$I = \frac{1.5 \times 1000}{220} = 6.82 \text{ آمپر}$$

با استفاده از (۵-۶)

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 15 \times 6.82 \times 1}{1.5 \times 220} = 1.28 \times 10^{-6} m^2 = 1.28 mm^2$$

سیم ۱/۵ از نظر افت ولتاژ و جریان کافی است.

(۳) برای انشعاب پریزهای ۳ کیلو واتی با فرض ضریب توان توسط ۰/۸

$$I = \frac{3 \times 1000}{220 \times 0.8} = 17.05$$

با استفاده از (۵-۶)

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 15 \times 17.05 \times 0.8}{1.5 \times 220} = 2.56 \times 10^{-6} m^2 = 2.56 mm^2$$

لذا سیم ۲/۵ از نظر جریان کافی است لیکن از نظر افت ولتاژ مجاز کمی کوچک است اگر مورد استفاده قرار گیرد افت ولتاژ

۱/۵ درصد می شود که بدون اشکال است و استفاده از سیم ۴ میلیمتر مربع لزومی ندارد.

(۴) برای انشعاب پریزهای دو کیلو واتی با در نظر گرفتن ضریب توان متوسط ۰/۸

$$I = \frac{2 \times 1000}{220 \times 0.8} = 11.36$$

و با استفاده از (۵-۶)

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 10 \times 11.36 \times 0.8}{1.5 \times 220} = 1.14 \times 10^{-6} m^2 = 1.14 mm^2$$

لذا سیم ۱/۵ میلیمتر مربع کافی است.

(۵) برای ماشین لباسشویی ۴ کیلو واتی

$$I = \frac{4 \times 1000}{220 \times 0.7} = 25.97$$

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 12 \times 25.97 \times 0.7}{1.5 \times 220} = 2.73 \times 10^{-6} m^2 = 2.73 mm^2$$

لذا از سیم ۴ میلیمتر مربع استفاده می کنیم که ظرفیت حمل ۲۷ آمپر جریان دارد.

(۶) برای یخچال ۲ کیلو واتی

$$I = \frac{2 \times 1000}{220 \times 0.65} = 13.99$$

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 10 \times 13.99 \times 0.65}{1.5 \times 220} = 1.14 \times 10^{-6} m^2 = 1.14 mm^2$$

لذا سیم ۱/۵ از نظر ولتاژ و جریان مجاز کافی است.

جریان مدار اصلی از این قرار است:

$$I = 4.55\angle 0 + 6.82\angle 0 + 17.5\angle -\cos^{-1} 0.8 + 11.36\angle -\cos^{-1} 0.8 + 25.97\angle -\cos^{-1} 0.7 \\ + 13.99\angle -\cos^{-1} 0.65 = 76.83\angle -36.99$$

با احتساب ضریب همزمانی $6/6$ ، جریان کل از این قرار می شود:

$$I = 76.83 \times 0.6 = 46.10$$

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 2564010 \times \cos 36.99}{1 \times 220} = 17.27 \times 10^{-6} m^2 \\ = 17.27 mm^2$$

با مراجعه به جدول ۱-۵ ملاحظه می کنیم که سیم 25 میلیمتر مربع از نظر جریان مجاز هم مناسب است. استفاده از سیم 16 میلیمتر مربع هم از نظر جریان مناسب است، لیکن افت ولتاژ را کمی افزایش می دهد که احتمالاً خالی از اشکال است. در صورتی که خط تغذیه بارهای مختلفی در فواصل مختلف را تغذیه کند معادله سطح مقطع سیم شکل جدیدی پیدا می کند. در شکل ۲-۶ سه بار مختلف نشان داده است که به ترتیب در فواصل l_1, l_2, l_3 قرار دارندو جریانهای I_1, I_2, I_3 با فازهای تأخیری ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 اخذ می کنند. افت ولتاژ در این حالت می شود:

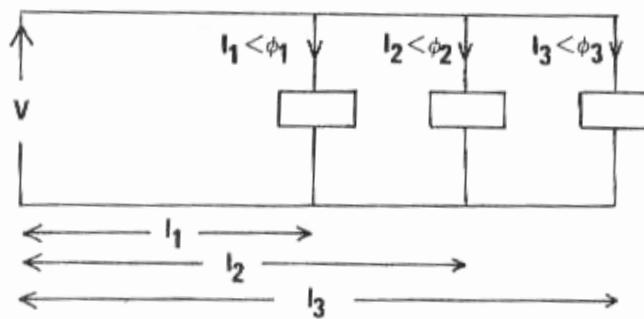
$$\Delta v = 2r_1 I_1 \cos \phi_1 + 2r_2 I_2 \cos \phi_2 + 2r_3 I_3 \cos \phi_3$$

$$a = 100 \times \frac{\Delta v}{v} = \frac{200 \times \frac{\rho}{a} (I_1 I_1 \cos \phi + I_2 I_2 \cos \phi + I_3 I_3 \cos \phi)}{v} \\ a = 200 \rho \sum_{i=1}^3 \frac{I_i I_i \cos \phi_i}{av^2}$$

در صورتی که صورت و مخرج رابطه بالا در ولتاژ اسمی V ضرب کنیم معادله زیر به دست می آید:

$$a = \frac{200 \rho \sum_{i=1}^3 I_i W}{av^2}$$

که در آن W توان گرفته شده توسط بار متصل در فاصله l_i است. در حالت کلی که به عوض 3 بار n بار مختلف موجود باشد به جای 3 از عدد n استفاده می کنیم.



شکل ۶ - ۲: مدار تک فاز با سه بار مختلف

مثال: ۷-۶

برای روشنایی خیابانی به طول 500 متر از 11 لامپ رشته دار 150 وات 220 ولت استفاده شده است. لامپ اول در ابتدای مدار تغذیه قرار دارد و فاصله بین دو لامپ مجاور 50 متر است.

اندازه سیم لخت مسی مدار تغذیه را با افت ولتاژ مجاز 3 درصد حساب کنید. آیا این سطح مقطع از نظر جریان مجاز مناسب است؟ حرارت محیط 35 درجه است. با استفاده از رابطه (۷-۶) و مقاومت ویژه مس $\rho = 1/996 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ داریم:

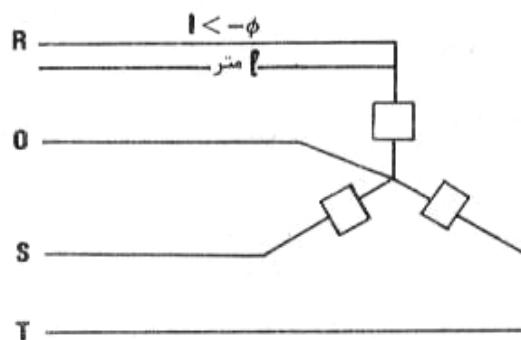
$$a = \frac{200 \times 1.996 \times 10^{-8} \sum_{i=1}^{11} (i-1) \times 50 \times 150}{3 \times (220)^2} = 11.34 \times 10^{-6} m^2 = 11.34 mm^2$$

لذا سیم ۱۶ میلیمتر مربع از این نظر کافی است. جریان مجاز چنین سیم بدون روکش در هوای ۳۵ درجه از جدول ۵-۵ برابر $76/5$ آمپر است و با توجه به اینکه این بار روشنایی جمعاً $7/5$ آمپر جریان لازم دارد، این سیم از نظر جریان مجاز به مراتب بزرگتر از اندازه لازم است.

۲-۲-۶- افت ولتاژ در مدارهای سه فاز

مدار سه فازی مطابق شکل ۳-۶ را در نظر بگیرید که دارای طول ۱متر و مقاومت هر یک از سیمهای آن r اهم است و در انتهای آن بار متعادلی که جریان I با ضریب $\cos\Phi$ می گیرد. متصل است. بدیهی است که جریان سیم نوترال صفر آمپر خواهد بود. نظر به تشابه کامل فازها برای تجزیه و تحلیل مدار می توان تنها یکی از فازها را به صورت زیر در نظر گرفت.

شکل ۴-۶: یک فاز از بار متعادل سه فاز (a) و شکل فیزوری آن (b).



شکل ۶ - ۳: یک مدار سه فاز با بار متعادل

با توجه به شکل فیزوری ۴-۶ (b) در نظر گرفتن این حقیقت که IR نسبت به V' کوچک است ولتاژ دو سر بار چنین می شود.

$$V \approx V' + 2IR \cos\phi$$

لذا افت ولتاژ خط ΔV از این قرار می شود.

$$\Delta V = IR \cos\phi = I \left(\frac{\rho l}{a} \right) \cos\phi$$

در رابطه بالا a سطح مقطع سیم برحسب متر مربع و l طول آن برحسب متر است. در صورتی که درصد افت ولتاژ مجاز را با نشان دهیم رابطه زیر حاصل می شود:

$$a = \frac{100\rho l \cos\phi}{\alpha V} \quad (8-6)$$

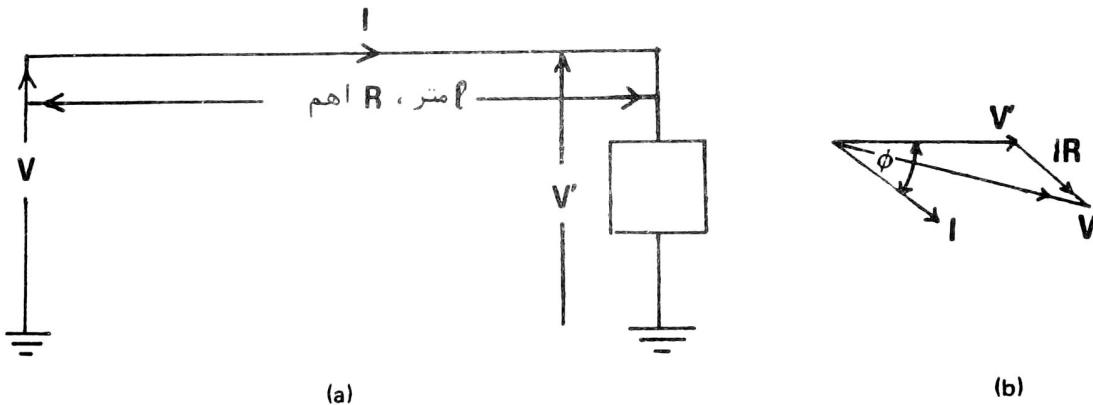
رابطه بالا مقطع سیم را برحسب متر مربع برای درصد افت ولتاژ مجاز a به دست می دهد. دقت کنید که V در رابطه بالا ولتاژ فاز نسبت به نوترال است. در صورتی که صورت و مخرج رابطه (۸-۶) را در $3V$ ضرب کنیم چنین می شود:

$$a = \frac{100\rho l (3VI \cos\phi)}{3\alpha V^2}$$

جمله داخل پرانتر توان گرفته شده W توسط بار می باشد لذا

$$a = \frac{100\rho l w}{\alpha v_1^2} \quad (9-6)$$

در معادلات بالا V ولتاژ فاز $V1$ ولتاژ خط و W توان بار است.



شکل ۶ - ۴ : یک فاز از بار متعادل سه فاز (a) و شکل فیزوری آن (b)

مثال ۸-۶

یک کابل چهار سیمی به طول ۷۰ متر در هوا کشیده شده و یک مصرف کننده سه فاز متعادل ۳۸۰ ولت ۴۰ کیلو وات با ضریب توان ۰/۸ را تغذیه می کند. سطح مقطع کابل برای افت ولتاژ مجاز ۲ درصد چقدر باید اختیار شود؟ آیا این سطح مقطع از نظر جریان مجاز کافی است؟

$$a = \frac{100 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 70 \times 40 \times 1000}{3 \times (380)^2} = 20.01 \times 10^{-6} m^2 = 20.01 mm^2$$

لذا کابل چهار سیمه با سه سیم ۲۵ میلیمتر مربع برای فازها و یک سیم ۱۶ میلیمتر مربع برای نوترال از نظر افت ولتاژ مجاز مناسب است . جریان مجاز این کابل در هوای ۳۰ درجه برابر ۱۰۵ آمپر و در هوای ۴۰ درجه ۹۱ آمپر است که بایستی با جریان بار مقایسه شود.
جریان بار از این قرار است:

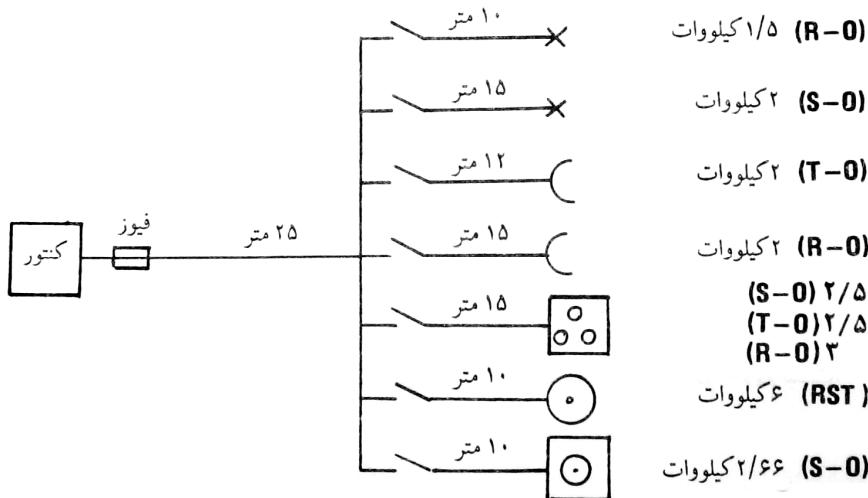
$$I = \frac{40 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 75.97$$

بنابراین کابل انتخاب شده از نظر جریان مجاز نیز مناسب است. در بارهای سه فاز متعادل جریان سیم نوترال پیوسته برابر صفر است و به این دلیل سیم نوترال را هر اندازه کوچک دلخواه می توان در نظر گرفت . در بسیاری موارد در صنعت یا خانه همه بارها سه فاز نیستند. و سعی براین است که بارهای تکفاز را به طور تقریباً مساوی بین فازها تقسیم کرده تا جریان سیم نوترال به صفر نزدیک شود. در این موارد در صورتی که بارهای تکفاز دوتا از فازها را قطع کنیم جریان قابل ملاحظه ای در سیم خنثی خواهیم داشت و لذا برای سیم خنثی باید اندازه مناسبی انتخاب نمود.

مثال ۹-۶

یک منزل مسکونی از برق سه فاز چهار سیمی ۳۸۰/۲۲۰ ولت استفاده می کند و دارای ۷ انشعباب به صورت زیر می باشد. افت ولتاژ مجاز در انشعبابها ۱ درصد و در خط اصلی $1/5$ درصد است. سیم کشی با استفاده از سیم مسی با عایق پلاستیکی در لوله انجام می شود. ضریب مصرف هم انشعباب ۱ و ضریب مصرف خط اصلی $0/65$ است. اندازه سیمها را بر اساس افت ولتاژ مجاز معین گنید.
آیا اندازه های محاسبه شده از نظر جریان مجاز مناسب هستند؟

قبل از اینکه به حل مسئله بپردازیم توجه شما را به چند نکته جلب می کنیم. مدار تغذیه اصلی چهار سیمی مرکب از سه فاز و نوترال است و فیوز محافظ و کلید قطع دستی تنها روی سه فاز تعبیه می شود. هر یک از دو انشعباب چراغها دوسیمی است و به ترتیب از فازهای T,S استفاده می کنند.



هر یک از دو انشعباب پریزها دو سیمی است و به ترتیب از فازهای T,R روی یک فاز قرار گرفته، به طوری که فاز 3R کیلووات و دو فاز دیگر هر کدام 2/5 کیلو وات بار را تغذیه می کنند. بنابراین اجاق برقی در حقیقت مرکب از چند بار تک فاز است. آیا می دانید به چه علت برای آن انشعباب سه فاز در نظر گرفته ایم؟ آبگرمکن برقی سه کیلو واتی یک بار سه فاز متعادل است و بالاخره ماشین رختشویی ۳/۸ کیلو واتی یک بار تک فاز است که روی فاز S قرار دارد.

انشعباب چراغهای ۱/۵ کیلو واتی

$$I = \frac{1.5 \times 1000}{220} = 6.82$$

با استفاده از (۵-۶)

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 10 \times 6.82 \times 1}{1 \times 220} = 1.28 \times 10^{-6} m^2 = 1.28 mm^2$$

لذا سیم ۱/۵ از هر نظر کافی است.

$$I = \frac{2 \times 1000}{220} = 9.09$$

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 15 \times 9.09 \times 1}{1 \times 220} = 2.56 mm^2$$

لذا سیم ۲/۵ کمی کوچک است لیکن خالی از اشکال می باشد و استفاده از سیم ۴ لازم نیست.

پریز دو کیلوواتی در فاصله ۱۵ متری با فرض ضریب توان متوسط ۰/۸

$$I = \frac{2 \times 1000}{220 \times 0.8} = 11.36$$

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 15 \times 11.36 \times 0.8}{1 \times 220} = 2.56 \times 10^{-6} m^2 = 2.56 mm^2$$

لذا سیم ۲/۵ کمی کوچک است لیکن خالی از اشکال می باشد و استفاده از سیم ۴ لازم نیست.

برای انشعباب دیگر پریزها هم به همین ترتیب سیم ۲/۵ مناسب است.

انشعباب اجاق برقی:

فاز R بیشترین بار را دارد و بدترین وضع از نظر نوترال این است که بارهای دوفاز T,S قطع باشد.

$$I \frac{3 \times 1000}{220 \times 1} = 13.64$$

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 15 \times 13.64 \times 0.8}{1 \times 220} = 3.84 \times 10^{-6} m^2 = 3.84 mm^2$$

لذا چهار رشته ۴ میلیمتر مربع یا کابلی به این اندازه مناسب است و جریان مجاز آنها خیلی بیشتر از جریان بار می باشد.
انشعاب آبگرمکن:

آبگرمکن بار سه فاز متعادل است و لذا جریان نوترال صفر و جریان هر فاز از این قرار است:

$$I \frac{6 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 1} = 9.12$$

با استفاده از رابطه (۶)

$$a = \frac{100 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 10 \times 9.12 \times 1}{1 \times 220} = 0.86 \times 10^{-6} M^2 = 0.86 mm^2$$

با توجه به استحکام مکانیکی لازم ۴ رشته سیم ۱/۵ انتخاب می شود. سیم چهارم برای اتصال به نقطه نوترال آبگرمکن مورد استفاده قرار می گیرد و در شرایط عادی جریانی حمل نمی کند.
انشعاب ماشین رختشویی :

با فرض ضریب توان ۰/۷ راندمان ۰/۷

$$I \frac{2066 \times 1000}{220 \times 0.7 \times 0.7} = 24.67$$

با استفاده از رابطه (۵-۶)

$$a = \frac{200 \times 2.064 \times 10^{-8} \times 24.67 \times 0.7}{1 \times 220} = 3.24 \times 10^{-6} M^2 = 3.24 mm^2$$

لذا دو رشته سیم ۴ میلیمتر مربع کافی است.

انشعاب اصلی:

نظر به اینکه بار فازهای مختلف یکنواخت جمع بار هر فاز را به صورت زیر محاسبه می کنیم.
مقطع سیم را بر اساس بالاترین جریان فاز محاسبه می کنیم که با احتساب ضریب مصرف ۰/۶۵ چنین می شود.

$$I_s = [50.05 \angle -140.59] \times 0.65 = 32.53 \angle -140.59$$

جریان سیم نوترال با احتساب ضریب مصرف ۰/۶۵ چنین است.

$$I_o = [13.05 \angle -132.92] \times 0.65 = 8.84 \angle -132.92$$

با احتساب افت ولتاژ در سیم نوترال و با توجه به -۱۲۰ درجه فاز ولتاژ فاز S چنین می نویسیم:

$$a = \frac{100 \times 2.064 \times 10^8 \times 25 \times (32.53 \cos 20.59 + 8.84 \cos 12.92)}{1.5 \times 220}$$

$$a = 6.05 \times 10^{-6} m^2 = 6.05 mm^2$$

با مراجعه به جدول (۱-۵) ملاحظه می کنید که سیم ۶ میلیمتر مربع در لوله در حرارت ۲۵ درجه ۳۵ آمپر حمل می کند و کافی به نظر می رسد، لیکن درجه حرارت معمول ایران بالاتر است و بهتر است از سیم ۱۰ استفاده کنیم که حتی در درجه حرارت ۴۵ درجه هم ۳۶ آمپر حمل می کند. لذا از چهار رشته سیم ۱۰ استفاده می کنیم.

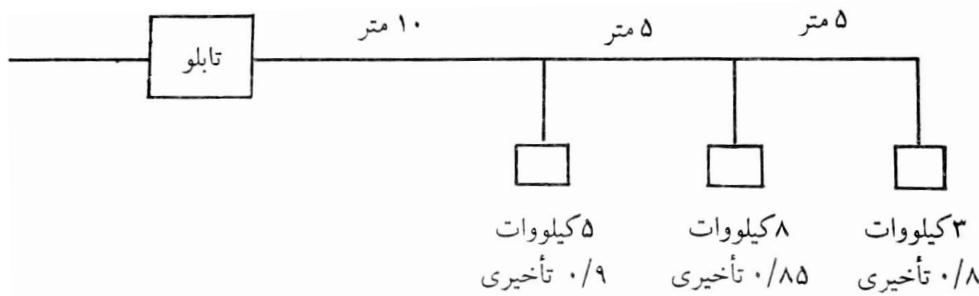
انشعاب	جريان R	جريان S	جريان T	جريان O
چراغها ۱/۵ کیلووات	۶.۸۲ $\angle 0^\circ$	-	-	۶.۸۲ $\angle 0^\circ$
چراغها ۲ کیلووات	۹.۰۹ $\angle -120^\circ$	۹.۰۹ $\angle -120^\circ$	-	-
پریزها ۲ کیلووات	۱۱.۳۶ $\angle -276.87^\circ$	۱۱.۳۶ $\angle -276.87^\circ$	-	-
پریزها ۲ کیلووات	۱۱.۳۶ $\angle -36.87^\circ$	-	-	۱۱.۳۶ $\angle -36.87^\circ$
اجاق برقی	۲.۲۷ $\angle 0^\circ$	۱۱.۳۷ $\angle -210^\circ$	۱۱.۳۷ $\angle -120^\circ$	۱۱.۳۷ $\angle -210^\circ$
آبگرمکن برقی	۰	۹.۱۲ $\angle -240^\circ$	۹.۱۲ $\angle -120^\circ$	۹.۱۲ $\angle 0^\circ$
ماشین رختشویی	۲۴.۶۷ $\angle -165.57^\circ$	-	۲۴.۶۷ $\angle -165.57^\circ$	-
جمع	۳۹.۲۶ $\angle -10^\circ$	۵۰.۰۵ $\angle -140.59^\circ$	۳۰.۳۵ $\angle 107.02^\circ$	۱۳.۰۵ $\angle -132.92^\circ$

در صورتی که خط تغذیه سه فاز N بار سه فاز واقع در فواصل مختلف را تغذیه کند، برای محاسبه صفحه مقطع به همان ترتیبی که در مورد مدار یک فاز عمل کردیم روی یک فاز سیستم سه فاز عمل می کنیم و نتیجه زیر حاصل می شود:

$$a = \frac{100\rho \sum_{i=1}^N I_i W_i}{\alpha V_I^2}$$

مثال ۱۰-۶

یک کابل سه فاز چهار سیمی ۳۸۰ ولت واقع در هوا سه بار مختلف سه فاز را مطابق شکل زیر تغذیه می کند. سطح مقطع سیم را برای افت ولتاژ مجاز ۳ درصد حساب کنید.
آیا مقطع حساب شده از نظر جریان مجاز کافی است؟



با استفاده از رابطه (۱۰-۶)

$$a = \frac{100 \times 2.064 \times 10^{-8} \times (10 \times 5 + 15 \times 8 + 20 \times 3) \times 1000}{3 \times (380)^2}$$

$$= 1.1 \times 10^{-6} m^2 = 1.1 mm^2$$

ملاحظه می کنید که از نظر افت ولتاژ مجاز کابل چهار سیمی ۱/۵ میلیمتر مربع کافی است که جریان مجاز آن در هوای ۳۰ درجه از جدول ۳-۵ برابر ۱۸ آمپر و در هوای ۴۵ درجه از جدول ۴-۵ برابر ۱۴/۲۲ آمپر است که باید با جریان بار ما مقایسه شود. جریان بار ما را از این قرار است:

$$I = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.9} \angle -\cos^{-1} 0.9 + \frac{8000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.85} \angle -\cos^{-1} 0.85 + \frac{3000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} \angle -\cos^{-1} 0.8$$

$$I = 8.44 \angle -25.84 + 14.30 \angle -31.74 + 5.7 \angle -36.87$$

$$= (7.60 - j3.68) + (12.15 - j7.53) + (4.56 - j3.42)$$

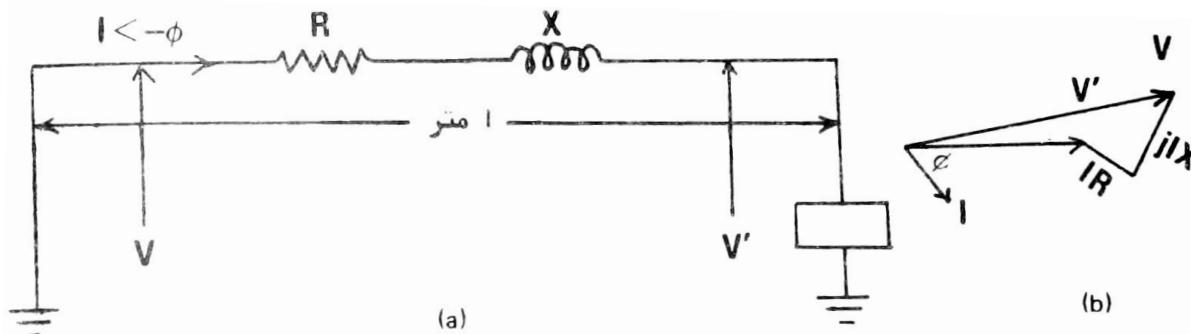
$$= 24.31 - j14.63 = 28.37 \angle -31.04$$

از جدول ۳-۵ ملاحظه می کنید از نظر جریان مجاز برای کار در هوای ۳۰ درجه استفاده از کابل ۲/۵ میلیمتر مربع که طبق ۳۵ آمپر دارد، لازم است.

۶-۳- تعیین مقاطع سیمهای هوایی براساس افت ولتاژ مجاز

به طوری که ملاحظه گردید در قسمت ۲-۶ در محاسبه افت ولتاژ در سیمهای عایق دار کابلهای تاثیرات خودالقایی قابل صرفنظر بود. در خطوط توزیع هوایی به علت فاصله قابل ملاحظه بین سیمهای مدار این اثر قابل صرف نظر نیست و باید در محاسبات منظور گردد. برای بررسی این وضعیت یک فاز از یک سیستم سه فاز متعادل را مطابق شکل ۵-۶ در نظر بگیرید.

طول خط ۱ متر است. مقاومت خط R اهم و راکتانس القایی آن X اهم میباشد و لوتاژ فاز درابتداخ V ولت و در دو سر بار V ولت است و جریان I با فاز تاخیری ϕ در مدار برقرار است. درشکل (B) V به عنوان فیزور مبنا اختیار شده است. نظریه به اینکه IR و IX نسبت به V کوچک هستند مقدار V از این قرار می شود:



شکل ۶-۵ یک فاز از سیستم سه فاز متعادل (A) و شکل فیزوری مربوط (B).

$$V = V' + IR \cos \Phi + IX \sin \Phi$$

و با افت ولتاژ ΔV در خط چنین می شود:

$$\Delta V = V - V' \approx IR \cos \Phi + IX \sin \Phi$$

در صورتی که درصد افت ولتاژ مجاز را A بنامیم رابطه زیر را می توان نوشت:

$$a = \frac{\Delta V}{V} \times 100 = \frac{100(IR \cos \Phi + IX \sin \Phi)}{V}$$

و یا

$$\frac{\alpha V}{100I} = R \cos \Phi + X \sin \Phi$$

همان طور که می دانیم.

$$R = \frac{\rho l}{a}$$

که در آن ρ مقاومت ویژه هادی در حرارت کاربر حسب اهم متر، l طول بر حسب متر و a مقطع هادی بر حسب متر مربع است. راکتانس القایی برابر ωL است که در مورد یک فاز از سیستم سه فاز متعادل به طوری که در درس قدرت دیده اید از این قرار می شود:

$$X = 100\pi L = 100\pi \left[\mu_0 \left(\frac{1}{8\pi} + \frac{1}{8\pi} \ln \frac{D}{r} \right) \right] l$$

$$X = 10^{-5} \pi l \left(0.5 + 2 \ln \frac{D}{r} \right)$$

در رابطه بالا d فاصله دو فاز از یکدیگر و r شعاع هر یک از هادیها می باشد و طول خط بر حسب متر است.

$$\frac{\alpha V}{100I} = \frac{\rho l}{a} \cos \Phi + 10^{-5} \pi l \left(0.5 + 2 \ln \frac{D}{r} \right) \sin \Phi$$

و یا

$$\frac{\alpha V}{100I} - 10^{-5} \pi l \left(0.5 + 2 \ln \frac{D}{r} \right) \sin \Phi = \frac{\rho l}{a} \cos \Phi$$

و یا

$$a = \frac{\rho l \cos \Phi}{\frac{\alpha V}{100I} - 10^{-5} \pi l \left(0.5 + 2 \ln \frac{D}{\sqrt{a/\pi}} \right) \sin \Phi} \quad (11-6)$$

در مقایسه (11-6) و (11-8) ملاحظه می کنید که جمله دوم مخرج به علت راکتانس خط می باشد و اگر از آن صرفنظر کنید رابطه (11-6) حاصل می شود . به طوری که ملاحظه می کنید در این جمله سطح مقطع a نیز وجود دارد که مجھول است که درصد محاسبه آن هستیم و به نظر می رسد که از رابطه (11-6) محاسبه a آسان نیست. معادله را از طریق حدس و آزمایش حل می کنیم، بدین معنی که مقداری برای a حدس زده و در فرمول به کار می برمی و مقدار جدیدی برای a محاسبه می کنیم . با تکرار این عمل در چند مرحله مقدار دقیق a را به دست می آوریم. خوشبختانه مقدار لگاریتمی تغییرات زیادی با a ندارد. برای مثال دو حالت مختلف را با هم مقایسه می کنیم.

در حالت اول D را برابر یک متر و a را برابر ۵۰ میلیمتر مربع و در حالت دوم D را همان یک متر و a را برابر ۲۰۰ میلیمتر مربع در نظر می گیریم. جمله لگاریتمی در این دو حالت فقط ۱۳ درصد تغییر می کند . برای انجام محاسبات با صرفنظر از جمله دوم مخرج که به معنی استفاده از رابطه (11-6) است، مقداری تقریبی برای A به دست می آوریم و با استفاده از رابطه (11-6) مقدار واقعی تری برای a محاسبه می کنیم و با تکرار جواب دقیقترا به دست می آوریم. این روش را با حل مثالی روشن می کنیم.

مثال ۱۱-۶

یک خط توزیع سه فاز هوایی ۳۸۰ ولت بار سه فاز متعادلی به میزان ۳۶ کیلو وات با ضریب توان ۰/۶۵ را که در فاصله ۷۰ متری دارد تغذیه می کند. فاصله سیمها از یکدیگر ۷۵ سانتیمتر می باشد. مقطع سیم را برای افت ولتاژ مجاز ۲ درصد تعیین کنید. آیا این مقطع از نظر جریان مجاز کافی است؟

$$I = \frac{36 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.65} = 84.15$$

با صرفنظر از جمله دوم مخرج و استفاده از مقاومت ویژه مس در ۶۰ درجه سانتیگراد داریم:

$$A = \frac{\frac{1.996 \times 10^{-8} \times 70 \times 0.65}{2 \times 220}}{100 \times 84.15} = 17.37 \times 10^{-6} m^2 = 17.37 mm^2$$

با استفاده از (11-6) و $\sin \Phi = 0.76$ چنین می نویسیم .

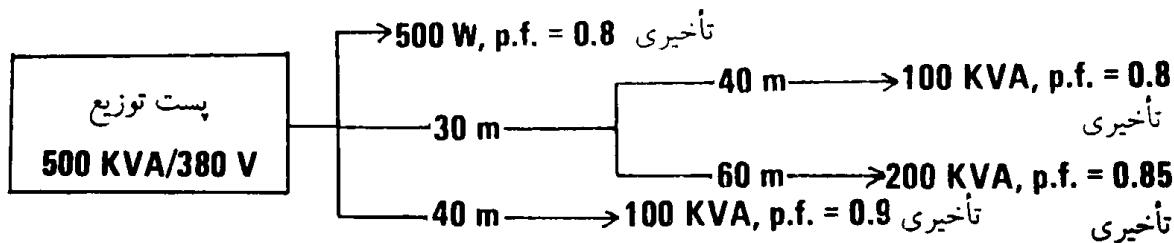
$$A = \frac{\frac{1.996 \times 10^{-8} \times 70 \times 0.65}{2 \times 220} - 10^{-5} \pi \times 70 \left(0.5 + 2 \ln \frac{0.75}{\sqrt{17.37 \times 10^{-6}/\pi}} \right)}{100 \times 84.15} = 28.22 mm^2$$

در صورتی که مقطع به دست امده را مجدداً در معادله (11-6) قرار دهیم برابر $27/53$ میلیمتر مربع به دست می آید که اگر باز در معادله (11-6) قرار گیرد a برابر $27/56$ میلیمتر مربع حاصل می شود که به حد کافی دقیق است. بنابراین از نظر افت ولتاژ مجاز سیم بدون روپوش ۳۵ میلیمتر مربع کافی است. با مراجعه به جداول ۵-۵ و ۶-۵ ملاحظه می کنید که این سیم حتی در هوای ۵۰ درجه از نظر جریان مجاز کافی است.

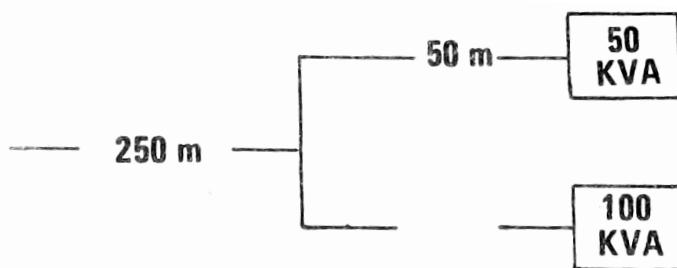
در به دست آوردن معادله (۶-۱۱) بار متعادل با اتصال ستاره در نظر گرفته شده است. تایید کنید که این معادله برای اتصال بار به صورت مثلث هم صحیح است.

مسائل فصل ششم

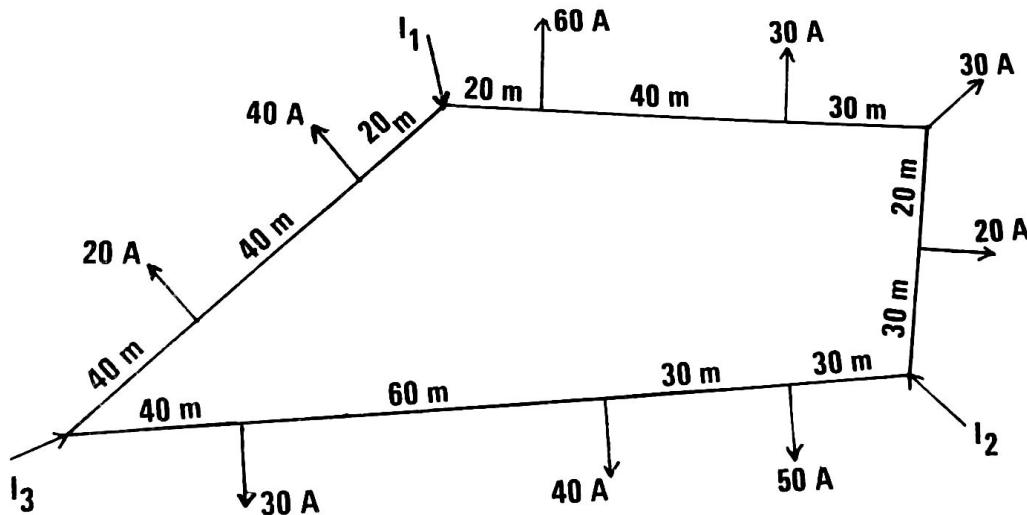
- ۱- یک موتور الکتری سه فاز ۵ کیلو وات، ۳۸۰ ولت و ۵۰ هرتز به وسیله کابل PVC خوابانده شده در زمین ۲۰ درجه به طول ۵۰ متر تغذیه می شود. مقطع کابل را براساس جریان افت ولتاژ مجاز ۳ درصد تعیین کنید.
- ۲- یک ماشین لباسشویی تک فاز ۳ کیلو وات در فاصله ۲۰ متر از تابلوی توزیع قرار دارد. مقطع سیم در لوله را براساس جریان و افت ولتاژ مجاز ۳ درصد تعیین منید. حرارت محیط ۲۵ درجه است.
- ۳- شماتیک توزیع کارخانه ای با کابل PVC زیرزمینی به صورت زیر است.
 - الف: ولتاژ پست را توسط tap changer در چه میزان تنظیم می کنید؟
 - ب: مقاطع کابلها را براساس جریان و افت ولتاژ مجاز به دست می آورید؟



- ۴- یک خط توزیع هوایی ۳۸۰ ولت به طول ۱۰۰ متر، بار سه فاز متعادل 100kva با ضریب توان تاخیری $0.8/0$ را تغذیه می کند. فاصله سیمها از یکدیگر ۷۵ سانتیمتر است. مقطع سیم ضریب مسی را براساس افت ولتاژ مجاز ۲ درصد و جریان مجاز حساب کنید اگر از سیم آلومینیومی استفاده شود مقطع را چقدر اختیار می کنید؟ چرا سیمهای آلومینیومی در توزیع کمتر به کار گرفته می شوند؟
- ۵- دو موتور سه فاز ۱۰۰ کیلو وات آمپر و ۵۰ کیلو وات آمپر، ۵۰ هرتز و ۳۸۰ ولت با خط هوایی مس به طول ۲۵۰ متر تغذیه می شوند. مقطع انشعاب اصلی و انشعابهای فرعی را براساس جریان مجاز و افت ولتاژ مجاز ۲ درصد حساب کنید.



- ۶- به شبکه حلقه ای تک فاز ۲۲۰ ولت از سه نقطه جریان می رسد. مقطع کابل حلقه را برای افت ولتاژ مجاز ۲ درصد محاسبه کنید. ضریب توان همه بارها را یک فرض کنید.

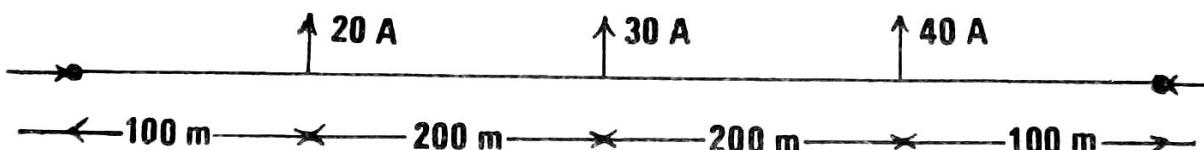


۷- یک خط توزیع هوایی سه فاز سه سیمی از جنس مس لخت، ۳۸۰ ولت به طول ۵۰ متر بار سه فاز متعادل ۱۰۰ کیلو وات آمپر با ضریب توان ۸/۰ تاخیری را تغذیه می کند، فاصله سیمهای مجاور از یکدیگر ۷۵/۰ متر است.

الف: اندازه سیم را چقدر باید انتخاب کنیم تا جریان لازم را حمل کند. اگر جریان به علت افزایش بار بیشتر از این حد شود، چه ضایعه ای برای سیم هوایی ممکن است اتفاق بیفتد.

ب: اگر بخواهیم حداقل افت ولتاژ در بار ۱۰۰ کیلو وات آمپر به ۲/۵ درصد محدود شود مقطع را مقطوعی را برای سیم توصیه می کنید؟ در این صورت چند درصد افت ولتاژ را باید تحمل کرد؟ برای کاهش افت ولتاژ چه اقداماتی می توان کرد؟

۸- مدار برقی تک فاز کابل زیر زمینی (زمین ۲۰ درجه) نشان داده شده است دارای مقطع یکسان درهمه نقاط است و از دو طرف با ولتاژ برابر و هم فاز ۲۲۰ ولت تغذیه می شود. ضریب توان همه بارها ۸/۰ تاخیری است.



الف: مقطع کابل را براساس جریان مجاز وافت ولتاژ مجاز ۶ درصد در شبکه تعیین کنید.

ب: اگر خط سمت راست قطع شود، این کابل ظرفیت حمل همه بار را دارد. در این صورت افت ولتاژ چقدر است؟

فصل هفتم

وسایل کنترل و حفاظت

برای اینکه استفاده از برق به طور صحیح و با ایمنی لازم انجام شود، استفاده از وسایل کنترل و حفاظت الزامی است. وسایل کنترل، قطع و وصل مدارها را در هر زمان دلخواه امکان‌پذیر می‌کند و وسایل حفاظت در هنگام بروز خطر، مدار را به طور خودکار قطع می‌کنند. وسایل کنترل ابتدایی کلیدهای کاردی ساده بودند که با حرکت دسته ای مدار را قطع و وصل می‌کردند. کار این کلیدها با جرقه همراه بود که سبب سوختن محل اتصال می‌گردد. با افزایش ولتاژ و جریان، این گونه کلیدها جوابگوی نیازمندیها نبودند و کلیدهای مناسبتری که عمل قطع و وصل را با سرعت انجام می‌دهند، به کار گرفته شده است. ساده‌ترین وسایل کنترل امروزی کلیدهای معمولی در مدارهای روشنایی خانگی است. این کلیدها برای قطع و وصل بارهای صنعتی که جریان زیاد می‌کشند کافی نیست و در این موارد جای خود را به کلیدهای بزرگ‌تر دو یا سه قطبی یا به کن tactورها و دیزئنکتورهای سه قطبی می‌دهند. به طور کلی عمل قطع و وصل کلید یا از طریق گرداندن بازوی متحرک یا از طریق حرکت دادن دسته کلید و یا از طریق وارد آوردن فشار بر میله حامل کن tactور متحرک انجام می‌شود.

چون باز کردن مدارها پیوسته با جرقه همراه است، لازم است عمل قطع و وصل کلید با سرعت انجام شود و به این منظور کلیدها به یک وسیله مکانیکی مجهز هستند که این اعمال را با سرعت انجام می‌دهد. در کلیدهای کوچک با عمل سریع که در مکانهای مسکونی یا تجاری برای کنترل جریانهای کم مورد استفاده قرار می‌گیرند، جرقه مشکلاتی ایجاد نمی‌کند، لیکن کلیدهای بزرگ صنعتی که برای کنترل جریانهای بالا ساخته می‌شوند معمولاً به وسایلی جهت سرد کردن و از بین بردن جرقه مجهز هستند تا از بروز سوختگی در نقاط تماس کن tactتها جلوگیری به عمل آید.

کلیدهای برقی باید استحکام الکتریکی کافی برای تحمل ولتاژ مدار و ظرفیت کافی برای حمل جریان مداری را که کنترل می‌کند دارا باشند. این بدان معنی است که کلیدها بدون افزایش درجه حرارت آنها از حد مجاز جریان مدار را به طور دائم حمل کنند. علاوه بر این در صورت اتصال کوتاه کلیدها باید جریان زیادی را برای مدت کوتاهی تحمل کنند تا وسایل حفاظتی عمل کرده و مدار را قطع نمایند در شبکه‌های برق رسانی جریانهای اتصال کوتاه مقادیر بزرگی دارند و کلیدها و دیزئنکتورها باید قدرت کافی برای حمل این جریانهای بزرگ داشته باشند. این امر موجب افزایش حجم و قیمت این گونه کلیدها و دیزئنکتورها می‌گردد. بنابراین در انتخاب کلیدها باید به ولتاژ اسمی، جریان اسمی و قدرت قطع آنها توجه شود.

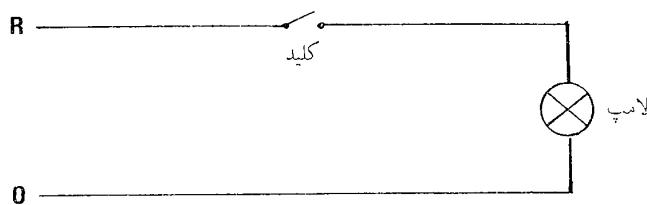
ساده‌ترین وسایل حفاظت فیوزها هستند. فیوزهای اولیه قطعات سیمهای سربی بود که به طور متواالی با مدار قرار می‌گرفت و در صورت ذوب به اطراف پرتاپ می‌شد که خطراتی در برداشت. فیوزها امروزه به حد کمال رسیده و در اماکن مسکونی، تجاری و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر فیوزها، رله‌های حرارتی، رله‌های الکترومکانیکی و رله‌های القایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند که به کن tactورها و دیزئنکتورها فرمان قطع می‌دهند.

در این فصل به تشریح این وسایل و طرز استفاده از آنها در مدارهای برقی می‌پردازیم. در ابتدا کلیدها سپس فیوزها و رله‌ها و در آخر کن tactورها و دیزئنکتورها را مورد بحث قرار می‌دهیم.

۱-۷- کلیدهای یک قطبی کنترل مدارهای روشنایی

مدارهای روشنایی اماکن مسکونی و تجاری کوچک توسط کلیدهای ساده یک قطبی با بدنه پلاستیکی با اندازه استاندارد ۱۰ آمپر کنترل می‌شوند. این کلیدها برای کنترل مدارهای روشنایی مراکز تجاری و صنعتی بزرگ کافی نیستند و استحکام کافی ندارند. در این مدارها روشنایی از کلیدهای گردان با کلیدهای کاردهی بزرگ که برای جریانهای بالا ساخته می‌شوند و دارای استحکام مکانیکی بیشتر هستند استفاده می‌شود. در مراکز صنعتی که گازهای قابل اشتعال موجود باشد از کلیدهایی با بدنه فلزی محکم که به کلیدهای ضد شعله معروف هستند استفاده به عمل می‌آید.

ساده‌ترین مدار برق رسانی مرکب از دو سیم فاز و نوترال است که به دو سر یک وسیله الکتریکی مثل یک لامپ متصل می‌شود. برای اینکه بتوانیم روشن یا خاموش بودن لامپ را کنترل کنیم به یک کلید نیازمندیم. این کلید می‌تواند دو سیم مدار را وصل یا قطع کند لکن واضح است که قطع و وصل یکی از سیمها برای کنترل عملکرد لامپ کافی است. چنین مدار ساده‌ای در شکل ۱-۷ زیر نشان داده شده است.



شکل ۱-۷ : کنترل یک لامپ توسط یک کلید

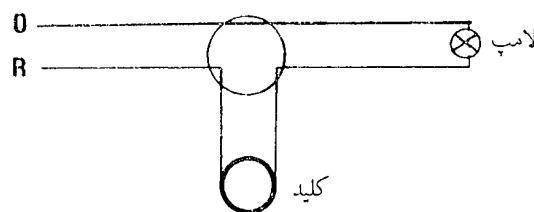
نظر به اینکه این کلید تنها یک بازوی متحرک دارد، کلید یک قطبی (یک پل) نامیده می‌شود. در بسیاری از مصارف صنعتی از کلیدهای دو قطبی و سه قطبی استفاده می‌شود که بعداً تشریح می‌گردد. به طوری که ملاحظه می‌کنید کلید روی سیم فاز تعیینه شده است. در صورتی که کلید را روی سیم نوترال (خنثی) قرار دهیم همین کار کنترل انجام می‌شود، لیکن از نظر فنی روشنی اشتباه است. در صورتی که کلید روی فاز باشد با باز کردن کلید چراغ فاقد برق و بی‌خطر خواهد بود لیکن اگر کلید روی سیم نوترال قرار داشته باشد، با باز کردن آن نیز سیم فاز (گرم) در پشت چراغ برق دار و خطرناک است و ممکن است در موقع تعمیر یا تعویض لامپ سوخته به سهولت سبب برق‌گرفتگی شود.

۱-۱-۱- کلید یک قطبی یک راهه

نظر به اینک کلید شکل ۱-۷ تنها یک تیغه یا بازوی متحرک دارد یک قطبی نامیده می‌شود و چون این کلید تنها یک سیم مدار را قطع یا وصل می‌کند یک راهه نامیده می‌شود. بنابراین کلید نشان داده شده یک قطبی یک راهه می‌باشد. شکل ۲-۷ شماتیک یک مدار برقی برای کنترل یک لامپ را نشان می‌دهد، لیکن اطلاعات کافی به سیم‌کش نمی‌دهد. در عمل کلید را در نقطه مناسب و دلخواهی قرار می‌دهیم و لامپ معمولاً در محل دیگری قرار می‌گیرد و نقشه عملی تر سیم‌کش به صورت زیر در می‌آید.

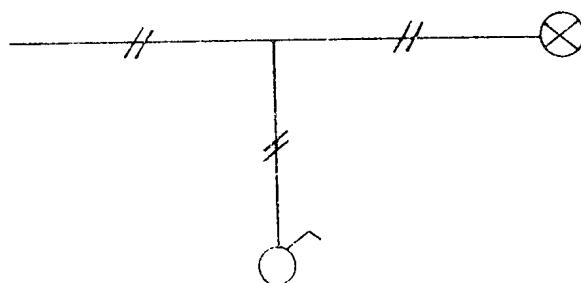
در نصب واقعی که معمولاً سیمها در داخل لوله قرار می‌گیرند یک لوله محتوی دو سیم به قوطی تقسیم کشیده می‌شود و از آنجا یک لوله محتوی دو سیم به کلید و لوله دیگری با دو سیم به لامپ کشیده می‌شود و اتصالهای لازم در قوطی، کلید و لامپ انجام می‌شود. در سیم‌کشی روکار به منظور حفظ زیبایی لوله‌ها در خطوط صاف و با زوایای ۹۰ درجه کشیده می‌شوند، لیکن در سیم‌کشی توکار معمولاً کوتاهترین مسیر برای لوله‌ها انتخاب می‌شود.

در کشیدن نقشه‌های برقی برای سادگی کار و جلوگیری از شلوغ شدن نقشه، مدارها را به شکل ساده تک سیمی می‌کشیم و از علائم قبول شده استفاده می‌کنیم. برای مثال نقشه سیم‌کشی مدار بالا را به صورت زیر که روش استاندارد ایران و غالب کشورهای دیگر است ترسیم می‌کنیم.



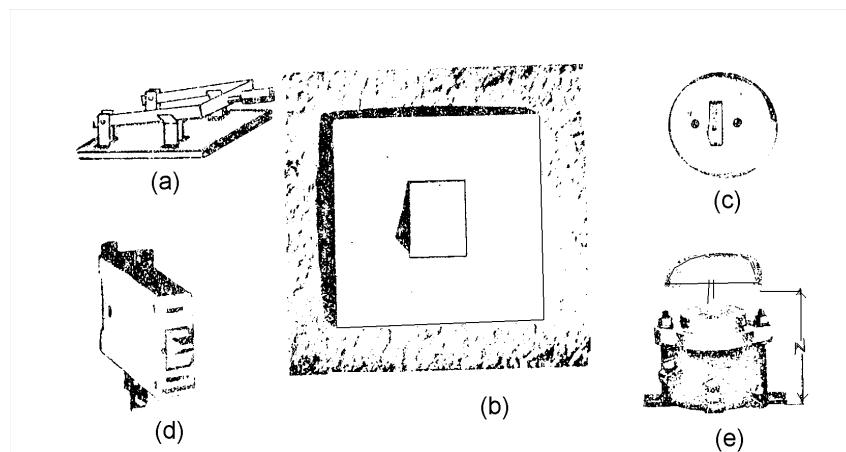
شکل ۷ - ۲ : نقشه عملی سیم‌کشی کنترل یک لامپ توسط یک کلید

دقت کنید که در این نقشه تعداد سیمها در هر نقطه مسیر با گذاشتن خط‌هایی مشخص شده است. در صورتی که تعداد سیمها خیلی زیاد باشد می‌توان تعداد آنها را نوشت. در نقشه از علائم قبول شده چراغ و کلید یک قطبی یک راهه استفاده شده است.



شکل ۷ - ۳ : نقشه معمول کنترل یک لامپ توسط یک کلید

این کلیدها را در آزمایشگاه مطابق شکل ۴-۷-(a) دیده‌ایم و به نام کلید کاردی می‌شناسیم. آنها دارای دو محل اتصال هستند که در روی پایه عایقی نظیر چوب نصب می‌شوند و با حرکت دسته تیغه مدار را قطع یا وصل می‌کند. بدینهی است که چنین کلیدی به علت در دسترس بودن اتصال‌های برق‌دار و سرعت کم آن خطرناک است. برای استفاده در اماکن مسکونی بر همین اساس کلیدهای سریع با پایه چینی یا عایق پلاستیکی ساخته می‌شوند (پایه چینی مرغوب‌تر است). این کلیدها به اشكال و رنگهای مختلف برای ولتاژ ۲۲۰ ولت و جریان استاندارد ۱۰ آمپر توسط کارخانجات مختلف آدمیرام، ایران رشت وغیره در ایران ساخته می‌شود. در شکلهای (b) و (c) نوع توکار و روکار این کلیدها نشان داده شده است. در نوع توکار قسمتی از بدنه کلید داخل دیوار قرار می‌گیرد، به طوری که سطح خارجی کلید، هم سطح با دیوار است. در نوع روکار، کلید کلاً روی دیوار نصب می‌شود.

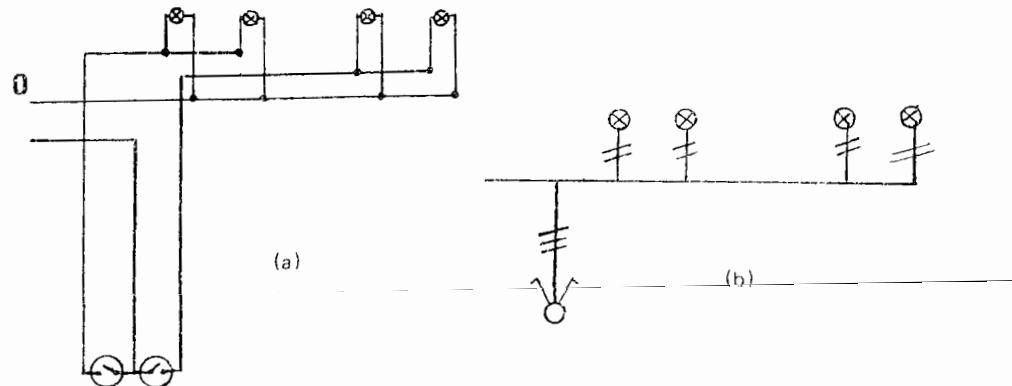


شکل ۷ - ۴ : برخی کلیدهای یک. قطبی. یک. راهه

در شکل d نوع قویتر کلید یک قطبی یک راهه با حجم کوچک تا ظرفیت ۴۰ آمپر ساخته می‌شود و برای کنترل مدارهای روشنایی تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، دیده می‌شود. در شکل e نوع گردان که تا ظرفیت ۶۳۰ آمپر ساخته می‌شود نشان داده شده است.

۲-۱-۷- کلیدهای دوبل

در بسیاری از موارد دوکلید یک قطبی یک راهه را در یک بدنه قرار می‌دهند که به طور مستقل عمل می‌کنند و دو مدار مختلف را کنترل می‌کنند. چنین کلیدی کلید دوبل یا دوکلونامیده می‌شود. نقشه برقی کامل و نقشه یک سیمی یک کلید دوبل که هر قسمت آن دو چراغ را کنترل می‌کند در شکل ۷-۵ نشان داده شده است.

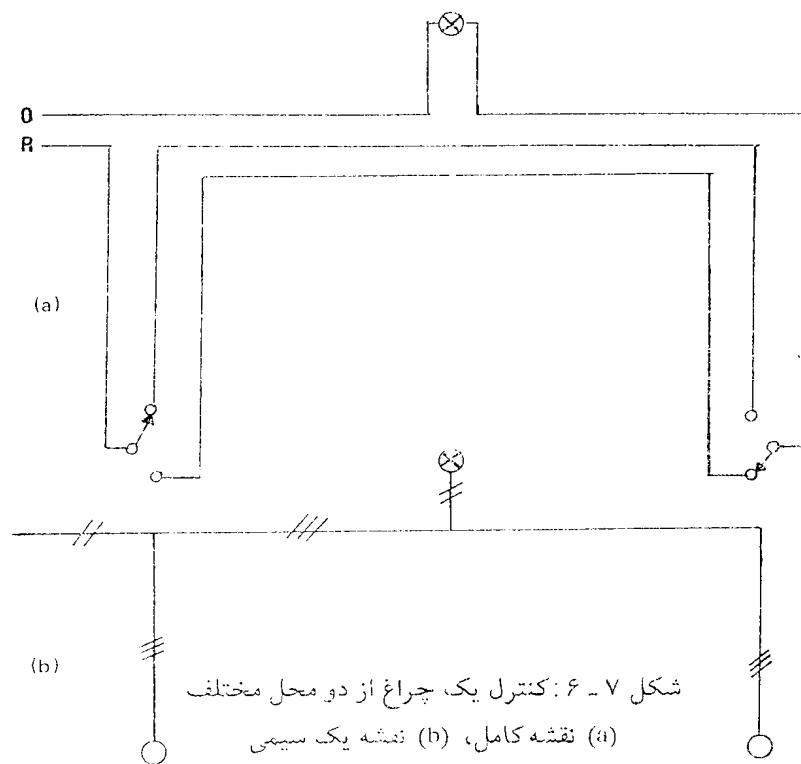


شکل ۷ - ۵ : کنترل مدار توسط کلید دوبل

(a) نقشه کامل، (b) نقشه یک سیمی

۳-۱-۷- کلید یک قطبی دو راهه (کلید تبدیل)

کلید دیگری که در سیم‌کشی خیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به نام کلید یک قطبی دو راهه یا کلید تبدیل معروف است. این کلید در مکانهایی نظیر راه‌پله‌ها یا راهروها که لازم باشد یک یا چند چراغ را از دو محل مختلف کنترل کنیم، مورد استفاده قرار می‌دهیم. شکل ۷-۶ مدار و نقشه برقی کنترل یک لامپ را به وسیله دو کلید تبدیل نشان می‌دهد.



شکل ۷ - ۶ : کنترل یک چراغ از دو محل مختلف

(a) نقشه کامل، (b) نقشه یک سیمی

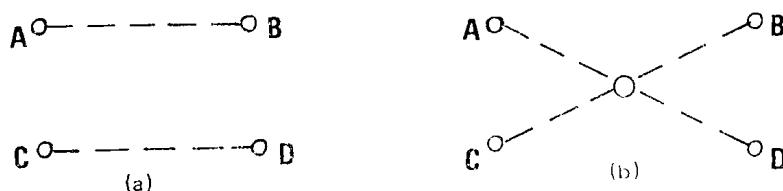
در شکل بالا ملاحظه می‌کنید که کلید در حالت قطع است و با اسفتاده از هر یک از دو کلید می‌توان چراغ را روشن کرد. پس از روشن کردن نیز هر یک از دو کلید می‌تواند چراغ را خاموش کند. ملاحظه می‌کنید این کلیدها یک جزء متحرک دارند لیکن در دو وضعیت مختلف خود دو سیم مختلف را وصل می‌کنند و به این دلیل کلید یک قطبی دو راهه نامیده می‌شوند. برای اینکه نحوه صحیح اتصال این کلید به خاطر تآن بماند دقت کنید که هر کلید دارای سه نقطه اتصال است.

یکی نقاطهایی که بازوی متحرک به دورش حرکت می‌کند که در همه حالات کلید، به سیم متصل است و معمولاً در روی کلید با گذاردن علامتی مشخص می‌گردد که آن را نقطه مشترک کلید می‌گوییم. از دو نقطه تماس دیگر بسته به وضعیت کلید تنها یکی از آنها در هر حال با بازوی متحرک در تماس خواهد بود. برای سیم کشی صحیح فاز را به نقطه مشترک کلید اول برد و نوتراول را از طریق لامپ به نقطه مشترک کلید دوم وصل کنید. دو نقطه باقی مانده روی دو کلید را به وسیله دو سیم دو به دو به یکدیگر متصل کنید تا مدار تکمیل شود.

شکل ظاهری کلیدهای یک قطبی دو راهه ۱۰ آمپری که درخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد مثل کلید یک قطبی معمولی است. نوع قویتر آن مطابق شکل ۷-۴ (d) و نوع گردن آن مطابق شکل ۷-۴ (e) تا جریان ۶۳۰ آمپر ساخته می‌شوند.

۷-۱-۴-۷- کلید یک قطبی سه راهه (کلید صلیبی)

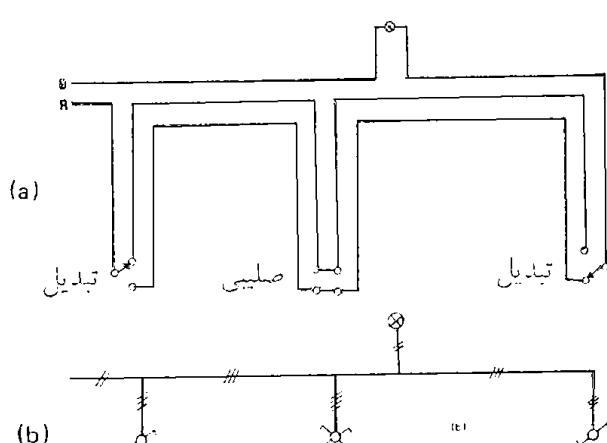
در بخرب موارد در برق رسانی داخل لازم می‌شود که چراغ یا وسیله دیگری را از سه نقطه مختلف کنترل کنیم. برای انجام این کار از دو کلید دو راهه (تبديل) و یک کلید سه راهه (صلیبی) استفاده می‌کنیم. این کلید دارای چهار نقطه اتصال است و وضعیت الکتریکی آن در دو حالت کار در شکل ۷-۷ نشان داده شده است.



شکل ۷ - ۷ : وضعیت اتصال داخلی کلید سه راهه در دو حالت

(a) دسته بالا، (b) دسته پایین

نمایش کنترل یک لامپ از سه نقطه در شکل ۷-۸ آمده است .



شکل ۷ - ۸ : مدار و نقشه برقی کنترل یک چراغ از سه محل مختلف

برای کنترل چراغ از بیش از سه نقطه تعداد کلیدهای صلیبی را افزایش می‌دهیم. مثلاً برای کنترل چراغ از چهار نقطه دو کلید تبدیل را در دو انتهای نگاه داشته و بین آنها از دو کلید صلیبی استفاده می‌کیم. این روش را می‌توان بدون اشکلا برای هر تعداد نقطه کنترل تعمیم داد. نوع معمول این کلید مطابق شکل ۷-۴-(b) به ظرفیت ۱۰ آمپر ساخته می‌شوند. و نوع گردان آن به شکل ظاهری ۷-۴-(c) تا ظرفیت ۶۳۰ آمپر ساخته می‌شود.

۲-۷- کلیدهای کنترل با قطع و وصل خودکار

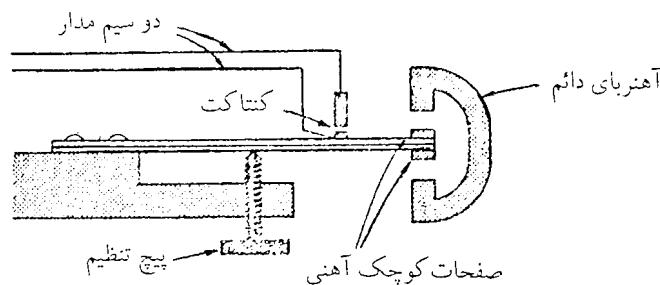
در وسایل خانگی، صنعتی و تجاری کلیدهای بسیاری یافت می‌شوند که فرمان قطع خود را از سیستم یا وسیله دیگری دریافت می‌کنند و در نتیجه وسایل متصل به مداری را به طور اتوماتیک کنترل می‌کنند. برخی انواع مهم این کلیدها را در ذیل تشریح می‌کنیم.

۱-۲-۷- کلیدهای ساعتی

این کلیدها برای قطع و وصل اتوماتیک مدارها در ساعت معین به کار گرفته می‌شوند. برخی از این مدارها نظیر چراغ ویترینها و چراغ خیابانها می‌باشند. در انتخاب این کلیدها لازم است به جریان مدار و ظرفیت کلید که بر حسب آمپر داده می‌شود توجه شود. این کلیدها ساختمانهای مختلف دارند. در یک نوع آن از موتور کوچکی که از نوع سنکرون انتخاب می‌شود استفاده می‌شود که البته در صورت قطع برق از کار می‌آید. در نوع دیگر ساعت مجهز به فنر است که توسط موتور برقی کوک می‌شود و در صورت قطع برق به کار خود ادامه می‌دهد و دچار اختلال نمی‌گردد. در وصل کلیدهای ساعتی حتماً باید فیوزی برای حفاظت موتور و فیوز دیگری برای حفاظت مدار به کار برد.

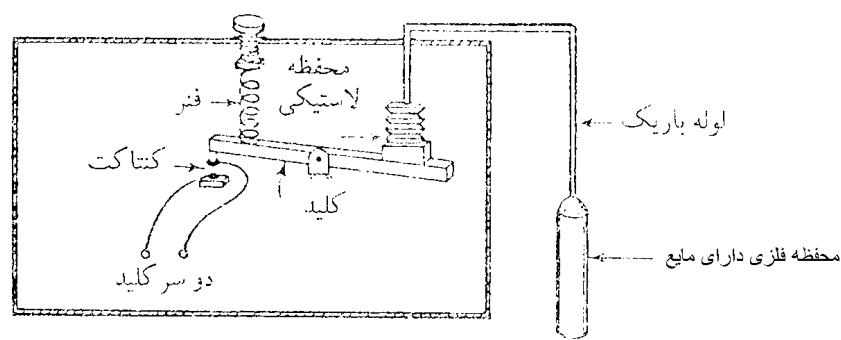
۲-۲-۷- کلیدهای حرارتی

این کلیدها از تغییرات درجه حرارت، فرمان قطع و وصل می‌گیرند و در وسایلی مثل سیستم حرارت مرکزی و یا یخچال مورد استفاده وقوع می‌شوند و انواع مختلف دارند. نوع اول دارای یک باریکه بی‌متال هستند که از دو فلز با ضرایب انبساط مختلف تشکیل شده و در اثر حرارت خم می‌شود و به این ترتیب اتصال الکتریکی را وصل یا قطع می‌کند. برای قطع و وصل سریع مدار و جلوگیری از جرقه و سوختگی محل اتصال از آهنربایی استفاده می‌شود که نیروی مغناطیسی آن به بسته شدن سریع اتصال کمک می‌کند شکل ۷-۹ ساختمان این گونه کلید را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۹: کلید حرارتی بی‌متال

در نوع دیگر آن مطابق شکل ۷-۱۰ یک محفظه فلزی دارای مایعی است که در اثر گرم شدن بخار می‌شود. فشار بخار از طریق لوله به محفظه لاستیکی آکاردئونی منتقل می‌شود و سبب تغییر طول آن و در نتیجه قطع کلید می‌گردد.



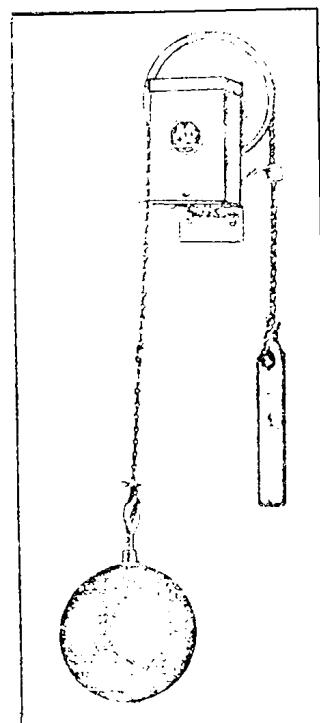
شکل ۷ - ۱۰ : کلید حرارتی

۳-۲-۷ - کلید فشاری

این کلیدها از تغییرات فشار فرمان می‌گیرند و برای کنترل موتورهایی که تلمبه‌ها یا کمپرسورها را می‌گردانند یا برای قطع توربین‌های بزرگ در صورت کم شدن فشار روغن یا طاقانها مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساس کار آنها مطابق شکل ۱۰-۷ است با این تفاوت که فشار مایع یا گاز یا روغن به محفظه لاستیکی بادکنکی وارد می‌شود. و سبب عمل کلید می‌گردد.

۴-۲-۷ - کلید شناوری

این کلید از شناوری که در سطح مایع قرار دارد فرمان می‌گیرد و برای کنترل موتور پمپ‌هایی که آب یا مایع دیگر به منبع ذخیره تلمبه می‌کنند، مورد استفاده واقع می‌شود. اگر سطح مایع پایینتر از میزان معین باشد، شناور اهرمی را به حرکت در می‌آورد و کلید را می‌بندد و موتور شروع به کار می‌کند و یا پس از اینکه سطح به میزان معین رسید، کلید باز می‌شود و موتور متوقف می‌شود. یک کلید شناوری در شکل ۱۱-۷ نشان داده شده است که کارش بر اصل دیگری استوار است. وقتی که شناور در سطح مایع قرار می‌گیرد بر اساس قانون ارشمیدس سبک می‌شود و نیروی وزنه برای باز کردن کلید کافی است. و زمانی که سطح آب پایین می‌رود وزن شناور از وزن وزنه بیشتر می‌شود و کلید را می‌بندد.



شکل ۷ - ۱۱ : کلید شناوری

۵-۲-۷ - کلید حدی

این کلیدها از حرکت و برخورد ماشین یا وسایل متحرک به نقطه ثابتی فرمان می‌گیرد و حرکت آنها را کنترل می‌کند. این کلیدها در جرثقیلها و آسانسورها در مکانی که حداکثر تغییر مکان مجاز دستگاه را معین می‌کند، نصب می‌شود و دستگاه در برخورد به دسته آن مدار را قطع می‌کند و سبب توقف می‌گردد.

۳-۷ - پریزها و دوشاخه‌ها

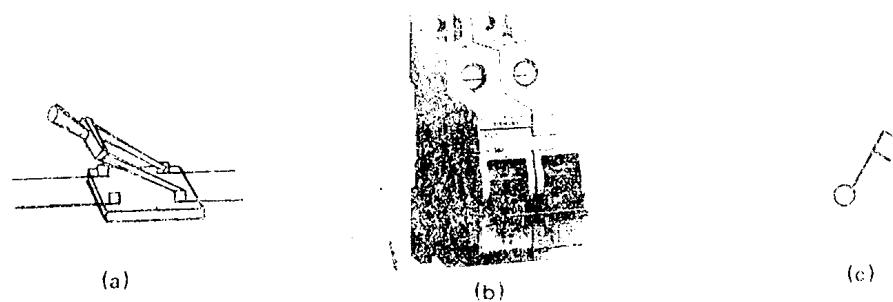
پریزها و دوشاخه‌ها به انضمام سیمها یا کابل‌های قابل انعطاف برای تغذیه وسایل برقی که محل معینی ندارند و جابه‌جا می‌شوند، به کار گرفته می‌شوند. برق به ساكتها^۱ پریزها که معمولاً روی دیوارها یا در کف اتاقها نصب می‌شوند، متصل می‌شود و دوشاخه که به وسیله برقی متصل است در داخل ساكت فرو بده می‌شود و یا خارج می‌شود. بیشتر ساكتها و دوشاخه‌ها که در ایران مورد استفاده هستند تنها دارای دو سیم فاز و نوترال و فاقد سیم زمین می‌باشند. استفاده از این گونه پریزها و دوشاخه‌ها طبق ضوابط غالب کشورها و مقررات بین‌المللی جز در مورد وسایلی که عایق دوبل دارند، مجاز نمی‌باشد. در انگلستان از پریزهای سه سوراخی و سه شاخه استفاده می‌شود که یک شاخه آن مربوط به سیم زمین است که به بدنه وسیله الکتریکی متصل می‌شود. در سایر کشورهای اروپایی دو شاخه مورد استفاده قرار می‌گیرد و سیم زمین از طریق بدنه دوشاخه به سیم زمین پریز متصل می‌شود. بیشتر پریزهای امروزی به دریچه اطمینانی مجهر هستند که وقتی دوشاخه را از آن بیرون می‌ورند سوراخهای چلوگیری به عمل می‌آید. ساكتها و دو اطفال نمی‌توانند چیزی در آن وارد کنند و به این ترتیب از بسیاری از خطرات احتمالی چلوگیری به عمل نمی‌آید. دوشاخه در ساكت بدون استفاده از کلید مجاز است. در کاربردهای صنعتی از پریزها و ساكتهای بزرگتر با استحکام مکانیکی بیشتر استفاده می‌شود که برای قطع و وصل برق به کلید مجهر هستند.

۴-۷ - کلیدهای دو قطبی

گاهی در عمل لازم می‌شود که دو سیم یک مدار به طور همزمان قطع یا وصل شوند. نمونه این موارد مدارهای جریان مستقیم که در آنها معمولاً هیچکدام از سیمها زمین نمی‌شود و مقررات قطع و وصل همزمان هر دو سیم را الزامی میدانند. در برخی موارد خاص نیز به دلایلی سیم خنثای سیستم برق متناوب به زمین متصل نمی‌شود که در این صورت نیز سیم خنثی سیم برق دار محسوب می‌شود و قطع و وصل آن همزمان با سیم فاز الزامی است. در شکل ۱۲-۷ نوع کاردی آزمایشگاهی این کلید، نوع عملی آن که تا جریان حدود ۶۳ آمپر ساخته می‌شود و علامت قبول شده این کلید نشان داده شده است.

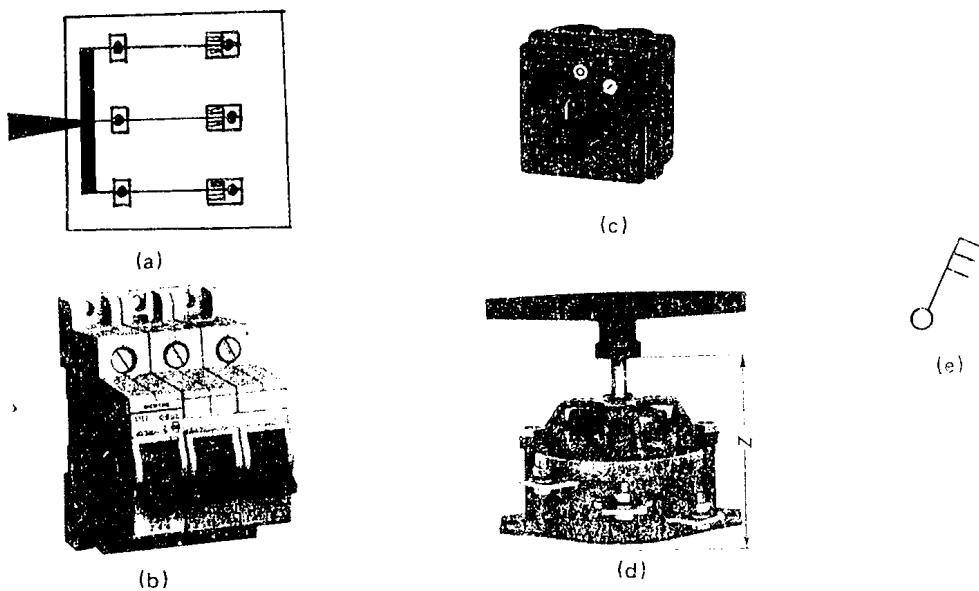
۵-۷ - کلیدهای سه قطبی

برای قطع و وصل مولهای قدرت که غالباً سه فاز هستند از کلیدهای سه قطبی استفاده می‌شود سیم نوترال این سیستمهای که در پست توزیع زمین شده است به طور دائم متصل باقی می‌ماند و قطع و وصل نمی‌شود. در این کلیدها هر سه سیم مدار به طور همزمان قطع و وصل می‌شوند. در شکل ۱۳-۷ نوع کاردی آزمایشگاهی این کلید و نوع عملی‌تر آن که حدود ۱۰۰ آمپر ساخته می‌شود، نوع جعبه‌ای آن، نوع گردان آن و علامت اختصاری آن نشان داده شده است. نوع گردان این کلیدها در ولتاژ ۳۸۰ ولت تا ۶۳۰ آمپر موجود است و اندازه‌های استاندارد آن ۱۶، ۲۵، ۴۰، ۶۳، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۳۰ آمپر می‌باشد.



شکل ۷ - ۱۲ : کلید دو قطبی

(a) نوع آزمایشگاهی، (b) نوع عملی، (c) علامت اختصاری



شکل ۷ - ۱۳ : کلید سه قطبی (a) نوع آزمایشگاهی، (b) نوع عملی،

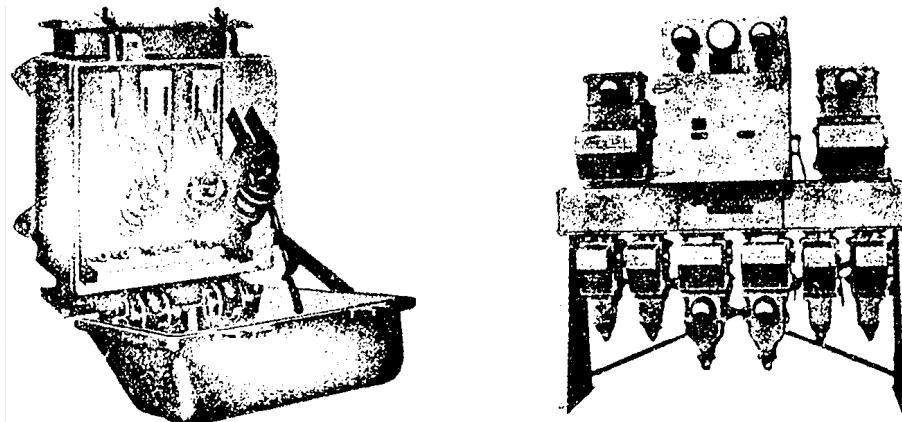
(c) نوع جعبه‌ای، (d) نوع دورانی، (e) علامت اختصاری

۶-۷- کلیدهای فیوزدار

نظر به اینکه برای کنترل مدارها کلید و برای حفاظت آنها فیوز لازم است در کلیدهای فیوزدار این دو وسیله را در جعبه‌ای مجتمع نموده‌اند که کلید فیوزدار نامیده می‌شود. این کلیدها در اندازه‌های استاندارد به صورت یک قطبی دو قطبی و سه قطبی ساخته می‌شود. در یک نوع آن فیوزها روی دیواره جعبه نصب می‌شوند و در نوع دیگر فیوزها روی تیغه‌های متحرک کلید قرار می‌گیرند. یک نوع ساختمان در شکل ۱۴-۷ نشان داده شده است. در شکل ۱۴-۷ تابلو توزیع صنعتی که از ترکیب این کلیدها ساخته شده است ملاحظه می‌شود. در این شکل سرکابلهای کلیدها، محفظه فیشهای و سایل اندازه‌گیری دیده می‌شوند.

در ساختمان کلیدهای فیوزدار چندنکته قابل توجه است. اول اینکه در کلید در حالت قطع تیغه‌ها بدون برق هستند. دیگر اینکه زمانی که دسته به طرف بالا کشیده می‌شود، کلید وصل می‌شود و به این ترتیب از وصل شدن اتفاقی آن زیر اثر وزن قسمت متحرک کلید جلوگیری به عمل می‌آید. سوم اینکه بسیاری از این کلیدها به یک ضامن مکانیکی مجهز هستند که بدون قطع کلید

نمی‌توان درب آنها را باز کرد که از نظر ایمنی حائز اهمیت است. این کلیدها برای ولتاژ ۳۸۰ ولت تا اندازه‌هایی در حدود ۰.۷۶ امپر ساخته می‌شوند.



تابلوی کلید صنعتی

{a}

(b)

شكل ٧ - ١٤: کلید فیوزدار (a) یک کلید، (b) تابلو کلیدها

۷-۷- کلیدهای فشارقوی

کلیدهایی که در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است، کلیدهای فشار ضعیف ۳۸۰ ولت بوده است. در کلیدهای ولتاژ قوی به علت مشکلات ناشی از جرقه از این ساختمانهای ساده نمی‌توان استفاده کرد. در کلیدهای ولتاژ قوی باید سرعت قطع و وصل کلید را با استفاده از نیروی فنر بالا برد و همچنین برای سرد کردن و از بین بردن جرقه چاره‌ای اندیشید که برخی از روش‌های آن استفاده از روغن، خلاً، هوا یا گازهای فشرده می‌باشد. در مواردی که کلید جریان را قطع نمی‌کند و صرفاً برای قطع مدار بدون جریان به کار می‌رود، کلیدهای کاردی ساده را می‌بینیم که جدا کننده یا قطع کننده یا ایزولاتور نامیده می‌شوند. کلیدهای ولتاژ قوی به صورت دیزکتورها ساخته می‌شوند که در آخر این فصل تشریح می‌شوند.

٨-٨- لزوم حفاظت و وسائل حفاظتی

به طوری که در قبل دیدیم سیمها و کابلها بسته به اندازه و نحوه نصب آنها و درجه حرارت قادرند جریان معینی را بدون اتخاذ خطر حمل کنند، که جریان مجاز نامیده می‌شود. در صورتی که جریان بیشتر از جریان مجاز برای مدت قابل ملاحظه‌ای از سیم عبور کند حرارت اضافی تولید شده، درجه حرارت سیم یا کابل را از حد مجاز بالاتر می‌برد که موجب خرابی عایق، اتصال کوتاه و ایجاد حريق می‌گردد. بنابراین لزوم یک وسیله حفاظتی که نمی‌تواند در تنظیم جریان نقش ایفا کند و تنها می‌تواند در صورت افزایش جریان از حد مجاز مدار را قطع کرده و به این ترتیب مانع خرابی سیم یا کابل گردد. به عنوان مثالی دیگر موتوری را در نظر بگیرید که زیر بار کامل جریانی برابر ۵ آمپر از منبع تغذیه می‌گیرد. این موتور بالا می‌رود و حرارت تولید شده ممکن است درجه حرارت موتور می‌تواند ساعتهاي متواли بدون خطر زیر بار به کار ادامه دهد. در صورتی که بار مکانیکی روی موتور به دلایلی افزایش یابد، جریان موتور بالا می‌رود و حرارت تولید شده ممکن است درجه حرارت موتور را از حد مجاز افزایش دهد و خطراتی برای موتور ایجاد کند. یک مشکل که برای موتورهای القایی اتفاق می‌افتد این است که به علت رونگ کاری نکردن به موقع یاطاقانها، محور موتور گیر می‌کند و پس از وصل کلید موتور حرکت نمی‌نماید. در این وضعیت موتور جریانی در حدود ۷ برابر جریان اسمی خود می‌کشد که سبب ایجاد حرارت زیاد می‌شود. در صورتی که تحت این شرایط وسایل حفاظتی سریعاً عمل نکنند و مدار موتور را قطع نکنند، موتور خواهد سوخت. این وسایل حفاظتی شامل فیوزها و دیژنکتورها هستند که در قسمتهای بعدی تشریح می‌شوند.

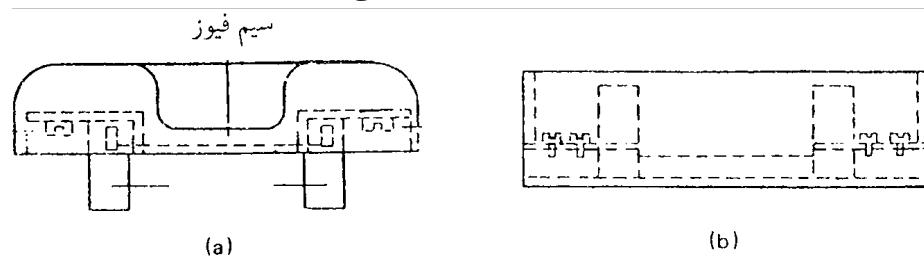
۹-۷- فیوزها

ساده‌ترین و قدیمی‌ترین وسایل حفاظتی فیوزها هستند. فیوزها سیمهایی از جنس بخصوص با سطح مقطع کوچک هستند که به طور متوالی در مدار برقی قرار می‌گیرند، اندازه سیم فیوز را طوری انتخاب می‌کنیم که جریان اسمی مدار را بدون ایجاد حرارت خارج از حدود ذوب شدن حمل کند و در صورتی که به دلیل بار اضافی یا اتصال کوتاه، جریان از حد مجاز افزایش یابد، سیم فیوز گرم و بالاخره ذوب شده و مدار را قطع کند. بار اضافی کم و کوتاه مدت معمولاً صدمه ای به مدار و وسایل وارد نمی‌کند و لزومی به قطع مدار توسط فیوز نیست، لیکن در موارد اتصال کوتاه فیوز باید به سرعت عمل کند و مدار را قطع کند.

۱-۹-۷- فیوزهای معمولی

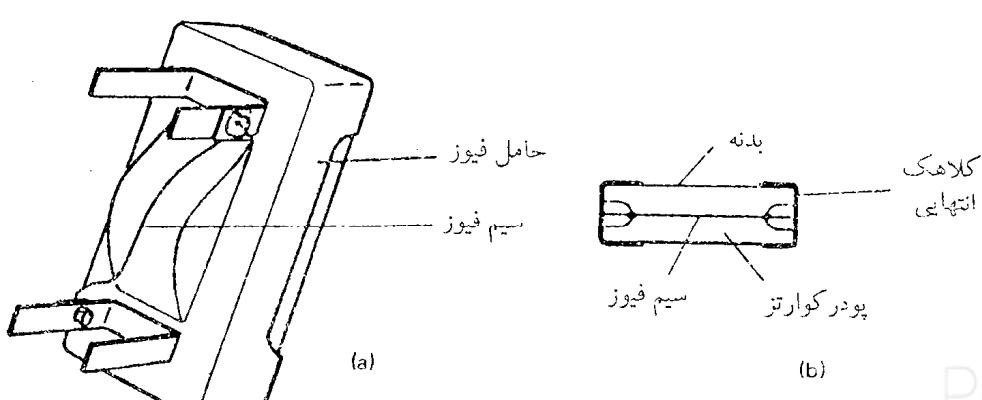
فیوزهای اولیه یک تکه جسم سربی بود که به طور متوالی با مدار قرار می‌گرفت و در صورت تجاور جریان از حد معینی ذوب می‌شد و مدار را قطع می‌کرد. ذرات مذاب سرب به اطراف پرتاپ می‌شد و به اشخاصی که در نزدیکی آن بودند آسیب می‌رساند. همچنین جرقه ناشی از قطع مدار خطرات ایجاد آتش‌سوزی به همراه داشت. فیوزهای امروزی محصور و ایمن هستند و از سه قسمت مطابق شکل ۱۵-۷ تشکیل شده‌اند:

قسمت اول پایه فیوز است که روی تابلو نصب می‌شود و سیمهای مدار به دو طرف آن متصل می‌شود. قسمت دوم حامل جزء ذوب شونده است که در داخل پایه فیوز قرار می‌گیرد و بالاخره قسمت سوم جزء ذوب شونده است که از یک سیم ساده و یا از یک استوانه‌ای که فلز ذوب شونده را در بر دارد تشکیل می‌شود.



شکل ۷ - ۱۵ : نقشه ساختمان فیوز

دو نوع قسمت ذوب شونده در شکل ۱۶ نشان داده شده است. در شکل a ذوب شونده یک سیم ساده است که از آلیاژی از قلع و سرب ساخته می‌شود و به وسله دو پیچ به حامل متصل است. در شکل b ذوب شونده در استوانه محصور شده است و اتصال آن به حامل به وسله پیچ کردن دو تیغه فلزی انتهای آن انجام شده است. در برخی طرحها تیغه‌های انتهایی وجود ندارد و قسمتهای فلزی انتهایی در داخل زبانه‌های فلزی فرنری قرار می‌گیرد. گاهی هم جزء ذوب شونده به جای استوانه در داخل محفظه‌ای به شکل فشنگ محصور می‌شود که فیوز فشنگی نامیده می‌شود.



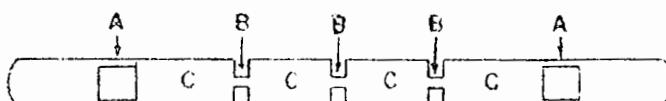
شکل ۷ - ۱۶ : نمایش دو نوع جزء ذوب شونده

فیوز شکل a ارزانتر است و پس از ذوب سیم قابل ترمیم و استفاده مجدد می‌باشد، لیکن دارای معایب بسیار نیز است. سیم ذوب شونده این گونه فیوزها در معرض هواست و به علت درجه حرارت بالای آن به سهولت اکسیده می‌شود و سطح مقطع آن کاهش می‌یابد که سبب سوختن آن در جریانی کمتر از جریان اسمی فیوز می‌شود. در صورت بروز معایبی نظیر اتصال کوتاه این فیوزها به کندی عمل می‌کنند (گاهی چند ثانیه طول می‌کشد) و ممکن است طی این مدت به مدار و وسایل آن آسیبهای وارد شود. حتی پس از ذوب شدن و تبخیر شدن سیم فیوز، جریان از طریق جرقه برای مدتی ادامه خواهد یافت که احتمال رسیدن آسیبها را فزایش می‌دهد. عیب دیگر این فیوزها دقت عمل کم آنهاست به این معنی که دقیقاً روش نیست که در چه مدت زمانی عمل خواهد کرد.

جریانی که سبب ذوب سیم فیوز می‌شود گاهی تا سه برابر جریان اسمی آن بالا می‌رود. عیب مهم دیگر این فیوزها این است که گرم و سرخ شدن سیم ممکن است سبب ایجاد حریق گردد. برای رفع برخی از این معایب از فیوز با جزء ذوب شونده محصور شده استفاده می‌شود. بدنه استوانه با فشنگ از جسم عایق که در مقابل حرارت مقاوم است ساخته می‌شود که در دو انتهای آن اتصالهای فلزی قرار دارند. نوار فلزی ذوب شونده از آلیاژ مخصوص و گاهی از نقره ساخته می‌شود و اطراف نوار از پودر فشرده کوارتز پر می‌شود. در صورت افزایش جریان از حد مجاز نوار که سطح مقطع کوچک دارد ذوب و تبخیر می‌شود و در اثر حرارت حاصل، باکوارتز ترکیب شده و جسم جامد غیرهادی ایجاد می‌کند که از برقراری جرقه جلوگیری به عمل می‌آورد. فیوزهای فشنگی گرانتر از فیوزهای ساده سیمی هستند لیکن به دلیل سرعت عمل بیشتر، دقت عمل بالاتر و نداشتن جرقه در مصارف صنعتی بسیار مورد استفاده می‌باشند لیکن در مصارف خانگی به ندرت دیده می‌شوند و فیوزهای سیمی معمول می‌باشند.

۲-۹-۷- فیوزهای تأخیری

با اینکه فیوزهای معمولی بسته به میزان جریان مدار را پس از گذشت مدت زمانی از شروع جریان اضافی قطع می‌کنند برای بسیاری از کاربردها تأخیر زمانی بیشتر لازم است. یکی از این موارد فیوز محافظ مدار موتورهای برقی است که در آنها باید مانع سوختن فیوز در طی دوره راه اندازی شویم. ساختمان تیغه یا نوار ذوب شونده این فیوزها مطابق شکل ۱۷-۷ می‌باشد.



شکل ۱۷ - ۷ : ساختمان نوار ذوب شونده فیوز تأخیری

حرارتی که به علت جریانهای بیشتر از حد مجاز کوتاه مدت در قسمتهای B ایجاد می‌شود به سطوح نسبتاً بزرگ C داده می‌شود و از سوختن فیوز جلوگیری به عمل می‌آید. در صورت بروز جریانهای زیاد دراز مدت قسمتهای A و B ذوب می‌شوند و قسمتهای C فرصتی برای ذوب شدن به دست نمی‌آورند. بنابراین ملاحظه می‌کنید که این فیوز در مقایسه با فیوزی که از نواری با عرض یکسان B ساخته شده است با تأخیر عمل می‌کند. تعداد قسمتهای دارای عرض کم را بسته به ولتاژ انتخاب می‌کنند، به طوری که جرقه به حداقل برسد.

۳-۹-۷- فیوزها با جزء ذوب شونده دو قسمتی

فیوز سریع از نظر حفاظت در مقابل اتصال کوتاه بسیار مناسب است لیکن اضافه بارهای کوچک کوتاه مدت هم باعث قطع بی‌اهمیت آن می‌گرددند. فیوزهای تأخیری به علت اضافه بارهای کوچک کوتاه مدت عمل نمی‌کند، لیکن عملکرد آنها در مقابل جریانهای اتصال کوتاه ممکن است به علت کندی صدماتی وارد آورد. برای رفع این معایب گاهی از فیوزهایی استفاده می‌شود که جزء ذوب شونده آنها از دو قسمت متوالی تشکیل شده است. یک قسمت آن تأخیری است و حفاظت در مقابل اضافه بار را عهده‌دار

است و قسمت دیگر سریع است که جریانهای زیاد اتصال کوتاه را در کمتر از یک دوره تناوب جریان قطع می‌کند. این فیوزها برای محافظت موتورها، ترانسفورماتورها و سیم‌پیچهای رله‌ها و کن tactورها مناسب می‌باشند و جریان شروع بالا سبب قطع آنها نمی‌گردد.

۴-۹-۷- فیوزهای محدود کننده جریان

جریان‌های اتصال کوتاه می‌توانند شین‌ها را ختم کنند و یا بشکنند و ماشینها و وسایل کنترل آنها را ذوب نمایند. بنابراین قطع فوری آنها و محدود کردن میزان جریان در هنگام قطع ضروری است. این فیوزها به گونه‌ای ساخته می‌شوند که همانطور که سیکل جریان اتصال کوتاه از صفر شروع شده و رو به افزایش می‌رود، حرارت تولید شده شروع به ذوب فیوز می‌کند به طوری که قبل از اینکه جریان در سیکل به حداقل معینی برسد، فیوز ذوب شده و حرقه نیز خاموش گردیده و مدار قطع می‌شود. در صورتی که این جریان برای مثال یک پنجم دامنه جریان اتصال کوتاه انتخاب شود، نیروهای الکترومکانیکی و اثرات حرارتی با ضریب ۲۵ کاهش می‌یابند و از بسیاری از خطرات و صدمات جلوگیری می‌شود.

۱۰-۷- اندازه‌های استاندارد فیوزها و مشخصات آنها

۱۰-۷-۱- اندازه‌های استاندارد فیوزها

فیوزهای استاندارد از ۲ آمپر تا ۱۰۰۰ آمپر موجود می‌باشند. اندازه‌های استاندارد شده در اروپا که در ایران نیز معمول می‌باشد به شرح زیر می‌باشند.

جدول ۷-۱: اندازه‌های استاندارد فیوزها

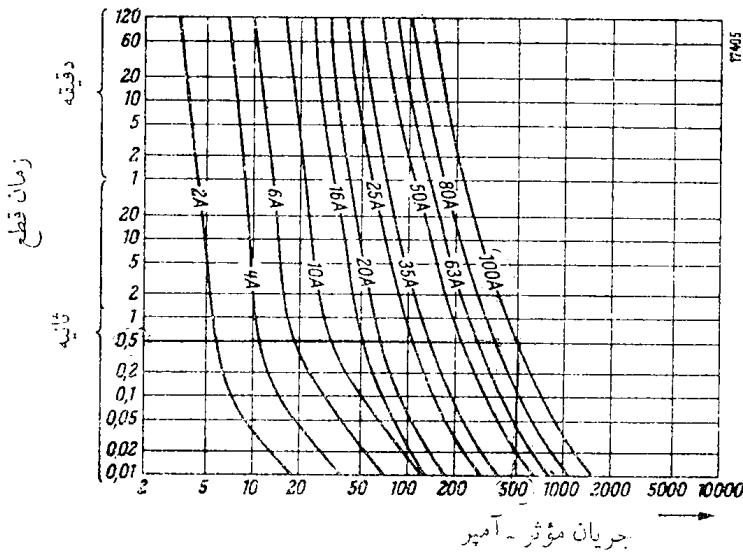
۶۳	۵۰	۳۵	۲۵	۲۰	۱۶ یا ۱۵	۱۰	۶	۴	۲
۴۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۶۰	۲۲۵	۲۰۰	۱۶۰	۱۲۵	۱۰۰	۸۰
					۱۰۰	۸۰۰	۶۲۰	۵۰۰	۴۰

این اندازه‌ها حداقل جریانهایی است که فیوزها می‌توانند برای مدت نامحدود بدون سوختن تحمل کنند و نباید با جریانی که سبب سوختن فیوز می‌شود اشتباه شود.

۱۰-۷-۲- منحنیهای قطع فیوزها

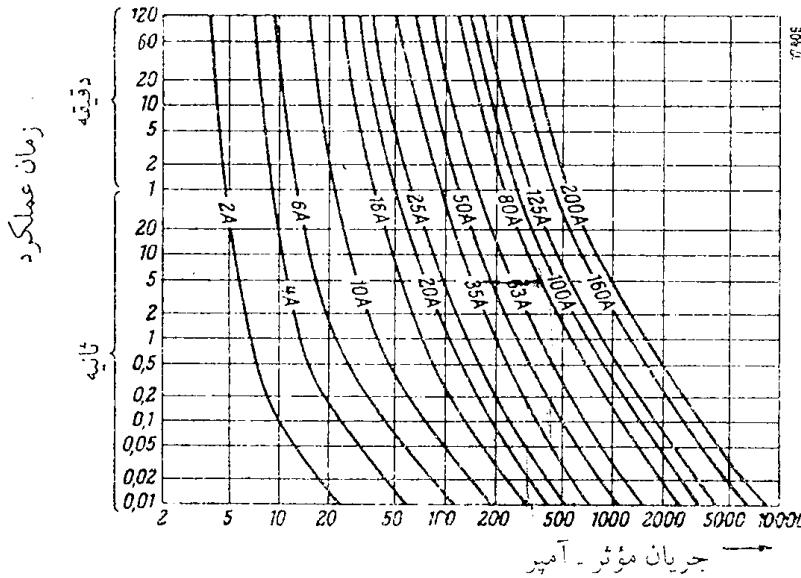
در صورتی که جریان فیوز مقدار اسمی آن افزایش یابد بسته به میزان جریان فیوز در مدت معینی عمل می‌کند. منحنی که زمان متوسط لازم برای ذوب فیوز و قطع مدار را برای جریانهای مختلف نشان می‌دهد، مشخصات فیوز نامیده می‌شود. مشخصات فیوزهای فشنگی ۳۸۰ ولتی سریع ساخت زیمنس که در ایران معمول هستند در شکل ۱۸ نشان داده شده است. فیوزهای تولید کنندگان دیگر مشخصات مشابهی دارند.

به طوری که ملاحظه می‌کنید فیوز ۲ آمپری حداقل جریانی در حدود ۳ آمپر برای ذوب شدن می‌خواهد. این فیوز جریان ۵ آمپر را در ۵ ثانیه و جریان ۱۰ آمپر را در ۰/۰۴ ثانیه قطع می‌کند. به همین ترتیب فیوز ۱۰۰ آمپری جریان ۲۰۰ آمپر را در ۲ دقیقه و جریان ۵۰۰ آمپر را در ۰/۵ ثانیه قطع می‌کند.



شکل ۷ - ۱۸ : مشخصات فیوزهای سریع زیمنس

نظر به اینکه اضافه بارهای خیلی کوتاه مدت خطراتی برای سیمها و کابلها و موتورها ایجاد نمی‌کند در سالهای اخیر فیوزهای تأخیری ساخته شده است که در مقایسه با فیوزهای سریع، عمل قطع را به تأخیر زمانی انجام می‌دهند. مشخصات فیوزهای فشنگی ۳۸۰ ولتی تأخیری ساخت زیمنس که در ایران معمول هستند در شکل ۷-۱۹ نشان داده شده است. فیوزهای تولیدکنندگان دیگر مشخصات مشابهی دارند.



شکل ۷ - ۱۹ : مشخصات فیوزهای تأخیری زیمنس

به طوری که ملاحظه می‌کنید فیوز ۲ آمپری تأخیری جریان ۵ آمپر را در ۲۰ ثانیه و جریان ۱۰ آمپر را در ۱۰ ثانیه قطع می‌کند. این زمانها به ترتیب ۴ برابر و $2/5$ برابر زمانها فیوز نوع سریع هستند فیوز ۱۰۰ آمپری از این نوع جریان ۲۰۰ آمپر را در ۵ دقیقه و جریان ۵۰۰ آمپر را در ۵ ثانیه قطع می‌کند که خیلی بیشتر از زمانهای قطع فیوزهای سریع هم اندازه می‌باشد. در سیستم انگلیسی نحوه عملکرد فیوزها را بر حسب ضریب ذوب فیوز تعریف و مشخص می‌کنند. در این روش نسبت حداقل جریانی را که سبب قطع فیوز می‌گردد به جریان اسمی آن را ضریب ذوب فیوز می‌گویند. و بسته به مقدار آن فیوزها را به چهار گروه تقسیم می‌کنند. فیوز نوع p ضریب ذوبی بین $1/125$ تا $1/25$ فیوز نوع O_1 ضریب ذوبی بین $1/5$ تا $1/25$ ، فیوز نوع O_2 ضریب ذوبی بین $1/5$ تا $1/75$ و بالاخره فیوز نوع R دارای ضریب ذوبی بین $1/25$ تا $2/5$ می‌باشد.

منحنیهای مشخصات، زمانهای متوسط قطع فیوزها را نشان می‌دهد به این معنی که اگر تعداد زیادی فیوز یک اندازه مورد آزمایش قرار گیرند معدل با مقدار متوسط نتایج حاصله با منحنی تطبیق خواهد داشت، لیکن هر نتیجه به تنها بی لزوماً با منحنی مطابقت نخواهد داشت. البته مقررات حداقل زمان قطع فیوزها را در جریانهای معینی تعیین کرده و مشخصات همه فیوزها باید در این محدوده واقع باشند. در جدول ۲/۷ حداقل وحداکثر زمانهای قطع فیوزهای سریع و تأخیری بر حسب ثانیه در جریانهای ۲/۵ برابر ۴ برابر جریان اسمی نشان داده شده است.

۳-۱۰-۷- قدرت قطع فیوزها

حداکثر جریانی را که فیوز بدون آسیب رساندن به پایه و حامل خود حمل می‌کند، قدرت قطع فیوز نامیده می‌شد و بر حسب کیلوآمپر اندازه‌گیری می‌شود و گاهی نیز با ضرب این جریان در مقدار اسمی ولتاژ مدار قدرت قطع فیوز را بر حسب کیلوولت آمپر با مگاولت آمپر مشخص می‌کنم. در انتخاب فیوز لازم است جریان اتصال کوتاه مدار در محل استقرار فیوز محاسبه شود و فیوزی که قدرت قطع لازم را دارا می‌باشد انتخاب شود.

۴-۱۰-۷- آزمایش فیوزها

برای کسب اطمینان از سالم بودن فیوزها ضوابط آلمانی، آزمایش‌های استانداردی برای فیوزها وضع کرده‌اند. در این استاندارد برای آزمایش هر فیوز دو مقدار جریان به صورت ضربی از جریان اسمی فیوز در نظر گرفته شده است. یکی جریان کوچک آزمایش نام گرفته است و این جریان را فیوزهای تا ۶۳ آمپر برای حداقل یک ساعت و فیوزهای بزرگتر از ۶۳ آمپر برای حداقل دو ساعت باید بدون ذوب شدن تحمل کنند. دیگری جریان بزرگ آزمایش نام گرفته و برابر جریانی است که در آن فیوزهای تا ۶۳ آمپر در طی یک ساعت و فیوزهای بزرگتر از ۶۳ آمپر در مدت دو ساعت باید ذوب شوند و مدار را قطع کنند. جریانهای کوچک و بزرگ آزمایش به صورت ضربی از جریان اسمی فیوز برای فیوزهای استاندارد در جدول ۳-۷ آمده است برای مثال یک فیوز ۵۰ آمپری باید جریان ۶۵ آمپر را حداقل برای یک ساعت بدون ذوب شدن تحمل کند و جریان ۸۰ آمپر را در کمتر از یک ساعت قطع کند.

جدول ۳-۷: حداکثر و حداقل زمان قطع فیوزها

جریان آزمایش ۴				جریان آزمایش ۳				جریان آزمایش ۱/۵				جریان اسمی	
تأخری	سریع			تأخری	سریع			تأخری	سریع				
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۴	-	-	۱۹	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۵	-	-	۱۲	
۲/۵	۰/۶	۰/۳	۰/۰۴	۲۰	۲	۱/۲	۰/۰۸	۱۲۰	۱۵	۷	۰/۲	۶	
۳/۶	۰/۹	۰/۵۵	۰/۰۴	۲۳	۲/۵	۲/۲	۰/۰۲	۱۲۰	۱۶	۸/۶	۰/۳	۱۰	
۴	۱/۱	۰/۵۵	۰/۰۰	۲۵	۶	۲/۵	۰/۰۴	۱۲۰	۱۷	۹	۰/۳۵	۱۶	
۴/۵	۱/۲	۰/۸	۰/۰۷	۲۸	۶	۲/۸	۰/۰۵	۱۳۰	۱۹	۱۰	۰/۳۵	۲۰	
۶/۱	۱/۸	۱/۱	۰/۱۰	۳۴	۸	۳/۵	۰/۰۵	۱۴۰	۲۲	۱۲	۰/۶	۲۵	
۶/۱	۲	۱/۴	۰/۱۳	۳۴	۸	۵/۶	۰/۰۶	۱۵۰	۲۵	۱۶	۱	۲۵	
۹	۳	۱/۸	۰/۱۸	۴۰	۱۰	۷	۰/۰	۱۵۰	۲۰	۲۰	۱/۲	۵۰	
۹	۳	۴	۰/۲	۶۰	۱۰	۸	۰/۰۸	۱۵۰	۴۵	۴۶	۱/۵	۶۳	
۱۱	۳/۶	۲/۵	۰/۲۵	-	-	-	-	۱۸۰	۳۵	۳۶	۱/۰	۸۰	
۱۳	۴	۳	۰/۳	-	-	-	-	۲۱۰	۴۱	۴۰	۳	۱۰۰	
۱۵	۴/۸	۴	۰/۴	-	-	-	-	۲۵۰	۴۸	۴۶	۴	۱۲۵	
۱۸	۵/۵	۴/۵	۰/۵	-	-	-	-	۳۰۰	۵۷	۵۵	۵	۱۶۰	
۱۹	۶/۳	۵	۰/۰۵	-	-	-	-	۳۶۰	۶۷	۶۵	۶/۵	۲۰۰	

۱۱-۷- استفاده از فیوزها برای محافظت

به طوری که دیدهایم ذوب فیوزها در اثر حرارت صورت می‌گیرد. میزان حرارت تولید شده در فیوز تابع مقدار جریان در مدت برقراری آن است و لذا فیوز در جریانهای زیاد در مدتی کوتاه و در جریانهای کم در زمانی بیشتر عمل می‌کند. صدماتی که به سیمها، کابلها و ادوات الکتریکی وارد می‌شود نیز به علت حرارت است که به میزان جریان و مدت برقراری آن بستگی دارد به این معنی که این وسایل می‌توانند جریانهای کم را برای مدت بیشتر و جریانهای آزاد را برای مدتی کوتاه‌تر بدون آسیب‌پذیری تحمل کنند. بنابراین ملاحظه می‌کنید که به علت تطابق مشخصات فیوزها با خصوصیات حرارتی وسایل برقی فیوزها طبیعی‌ترین وسایل حفاظتی محسوب می‌شوند.

جدول ۳: جریانهای آزمایش فیوزها به صورت ضرایب جریان اسمی

ضرایب جریان بزرگ	ضرایب جریان کوچک	جریان اسمی فیوز
۲/۱	۱/۵	۲
۲/۱	۱/۵	۴
۲/۱	۱/۵	۶
۱/۹	۱/۵	۱۰
۱/۷۵	۱/۴	۱۵ یا ۱۶
۱/۷۵	۱/۴	۲۰
۱/۷۵	۱/۴	۲۵
۱/۶	۱/۳	۳۵
۱/۶	۱/۳	۵۰
۱/۶	۱/۳	۶۳
۱/۶	۱/۳	۸۰
۱/۶	۱/۳	۱۰۰
۱/۶	۱/۳	۱۲۵
۱/۶	۱/۳	۱۶۰
۱/۶	۱/۳	۲۰۰

۱۱-۸- محافظت سیمهای و کابلهای انشعابهای معمولی

برای حفاظت سیمهای و کابلهای انشعابی معمولی که موتورهای برقی را تغذیه نمی‌کنند و در لحظه شروع جریانهای زیادی برای مدت قابل ملاحظه‌ای از مدار نمی‌گیرند از فیوزها با اندازه مناسب و ضرایب ذوب کم استفاده می‌کنیم. برای این کار فیوز استانداردی که اندازه اسمی آن برابر جریان مجاز سیم یا کابل است یا کمی با آن اختلاف دارد انتخاب می‌گردد. چنین فیوزی هم در صورت بار اضافی و هم در صورت بروز اتصال کوتاه ذوب شده مدار را قطع می‌کند و با جدا نمودن قسمت معیوب بقیه مدار یا شبکه را مصون نگاه می‌دارد. فیوزهای مناسب برای سیمهای عایق‌دار مسی با عایق پلاستیکی برای شرایط مختلف نصب که بر اساس جریانهای مجاز جدول ۱-۵ و ضرایب تصحیح جدول ۲-۵ تعیین شده است در جدول ۴-۷ آمده است.

جدول ۴: فیوزهای مناسب برای مدارها با سیمهای مسی با عایق پی-وی-سی

میلیمتر مربع	سطح مقیاس سیم	گروه ۱ - چند سیم یک لا در لوله	گروه ۲ سیم چند لا در هوا	گروه ۳ چند سیم یک لا در هوا	۴۵ درجه	۲۵ درجه						
۰/۷۵		-	-	-	۱۰	۱۶	۶	۱۰	-	-	۱۰	۱۶
۱		۱۰	۱۵	۶	۱۶	۲۰	۱۰	۱۵	۱۰	۶	۱۰	۱۶
۱/۵		۱۵	۲۰	۱۰	۲۰	۲۵	۱۵	۲۰	۱۵	۱۰	۱۵	۲۰
۲/۵		۲۰	۲۵	۱۵	۲۵	۳۵	۲۰	۲۵	۲۰	۱۵	۲۰	۲۵
۴		۲۵	۳۵	۲۰	۳۵	۵۰	۲۵	۳۵	۲۵	۲۰	۲۵	۳۵
۶		۳۵	۶۳	۳۵	۶۳	۸۰	۵۰	۶۳	۳۵	۵۰	۸۰	۱۰
۱۰		۴۰	۸۰	۵۰	۸۰	۱۰۰	۶۳	۸۰	۳۵	۵۰	۱۰۰	۱۶
۱۶		۴۰	۱۲۵	۸۰	۱۲۵	۱۲۵	۸۰	۱۰۰	۶۳	۸۰	۱۲۵	۲۵
۲۵		۴۰	۱۶۰	۱۰۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۰۰	۱۲۵	۸۰	۱۰۰	۱۶۰	۳۵
۵۰		۴۰	۲۰۰	۱۲۵	۲۰۰	۲۰۰	۱۲۵	۱۶۰	۱۰۰	۱۲۵	۲۰۰	۵۰
۷۰		۴۰	۲۶۰	۱۶۰	۲۶۰	۲۲۵	۱۲۵	۲۲۵	۱۲۵	۱۶۰	۲۰۰	۷۰
۹۵		۴۰	۳۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۲۶۰	۱۶۰	۲۶۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۰۰	۹۵
۱۲۰		۴۰	۳۵۰	۲۲۵	۳۵۰	۳۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۲۲۵	۲۰۰	۱۲۰
۱۵۰		۴۰	۴۰۰	۲۶۰	۴۰۰	۳۵۰	-	-	-	-	-	۱۵۰
۱۸۵		۴۰	۴۳۰	۳۰۰	۴۰۰	-	-	-	-	-	-	۱۸۵
۲۴۰		۴۰	۴۳۰	۳۵۰	۴۳۰	-	-	-	-	-	-	۲۴۰
۳۰۰		۴۰	۵۰۰	۴۰۰	۵۰۰	-	-	-	-	-	-	۳۰۰
۴۰۰		۴۰	۶۳۰	۴۰۰	۵۰۰	-	-	-	-	-	-	۴۰۰
۵۰۰		۴۰	۸۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۰۰
۶۳۰		۴۰	۱۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۳۰

مثال ۱-۷:

فیوز مناسب باری حففات سیم ۴ میلیمتر مربع با عایق پلاستیکی در لوله را برای محیط ۲۵ درجه و ۴۵ درجه تعیین کنید.
با استفاده از جدول ۱-۵ جریان مجاز سیم در ۲۵ درجه برابر ۲۷ آمپر است و لذا فیوز استاندارد ۲۵ آمپری انتخاب می کنیم.
ظرفیت مجاز همین سیم در حرارت ۴۵ درجه با توجه به ضریب تصحیح ۰/۷۵ از جدول ۲-۵ ۲-۵ چنین است.

$$27 \times 0.75 = 20.25$$

بنابراین فیوز استاندارد ۲۰ آمپری انتخاب می کنیم.

این گونه محاسبات برای سیمهای مسی با عایق پی - سی - وی - سی و حالات نصب به ترتیب بالا انجام شده است و در جدول ۴-۷ آمده است. در این جدول اندازه فیوز مناسب برای سیمهای عایق دار برای سه گروه مختلف بسته به نحوه نصب (گروه ۱ تا سه سیم در لوله، گروه ۲ سیم چند لا در هوا، گروه ۳ چند سیم یک لا در هوا با حداقل فاصله برابر قطر یک سیم) برای محیط ۲۵ درجه و ۴۰ درجه تا ۴۵ درجه داده شده است. در مورد سیمهای داخل ساختمانها که به وسائل خنک کننده مجهز هستند فیوزهای مربوط به ۴۰ درجه و در مورد امکنه فاقد خنک کننده با محیط خارج در بسیاری نقاط ایران مقادیر مربوط به ۴۰ تا ۴۵ درجه مناسب هستند.

اندازه فیوزهای مناسب برای کابلها و سیمهای هوایی را با توجه به جریانهای مجاز جداول ۳-۵ و ۵-۵ و ضرایب تصحیح مربوط تعیین می‌کنیم.

مثال ۲-۷ :

یک کابل $3 \times 10/6$ مسمی با عایق پلاستیکی در زمین 30° درجه کشیده شده است. اندازه مناسب فیوز برای سیمهای فاز نوترال را معین کنید.

جریان مجاز هر سیم فاز در حرارت 20° درجه از جدول ۳-۵ برابر 77 آمپر است. با توجه به ضریب تصحیح 0.89 برای حرارت 30° درجه از جدول ۴-۵ جریان مجاز چنین است.

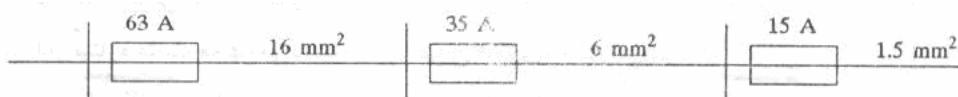
$$77 \times 0.89 = 68053$$

بنابراین فیوز استاندارد 63 آمپری انتخاب می‌شود.

نظر به اینکه سیم نوترال زمین شده است مقررات، نصب فیوز روی آن را مجاز نمیدانند.

۲-۱۱-۷ - فیوزبندی مدارهای برق رسانی

در سیستمهای برق رسانی که سطح مقطع قسمتهای مختلف خط بر حسب جریان آن مختلف است، لازم است برای حفاظت هر قسمت فیوز مناسبی به کار ببریم. برای مثال سیستم شکل ۲۰-۷ را در نظر بگیرید.



شکل ۲۰-۷ : سیستم برق رسانی با مقاطع مختلف

در این شکل در یه قسمت مدار از سیم مسمی با عایق پلاستیکی با مقاطع مختلف استفاده شده است. برای حفاظت هر قسمت بر علیه بار اضافی و اتصال کوتاه با توجه به حرارت هوای 25° درجه استفاده از فیوز های مناسب مطابق شکل الزامی است. فیوز بندی این گونه خط های پله ای باید طوری انجام شود که در صورت پیش آمدن عیوبی فیوز محافظ نزدیک به محل عیوب عمل کند تا از قطع غیر ضروری قسمتهای سالم جلوگیری به عمل آید. به این منظور حتماً باید فیوز قبلی حداقل یک پله از فیوز بعدی بزرگتر انتخاب شود و در مورد فیوز های سریع بهتر است این اختلاف برابر دو پله در نظر گرفته شود. به همین دلیل در صورتی که این خطوط از فیوزهای سریع و تأخیری هر دو استفاده شود حتماً فیوز سریع را قبل از فیوز تاخیری قرار می دهیم.

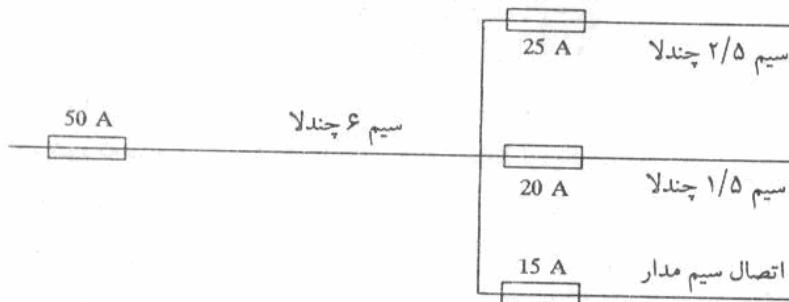
در صورتی که طول قسمتی کمتر از یک متر باشد به شرط اینکه فیوز قسمت قبل حد اکثر سه پله بزرگتر از فیوز قسمت کوتاه باشد، حذف فیوز قسمت کوتاه مجاز است. برای مثال در شکل بالا در صورتی که طول قسمت وسط، کمتر از یک متر باشد، چون فیوز 63 آمپری دو پله از 35 آمپری بالاتر است، فیوز 35 آمپری را حذف کنیم تنها با استفاده از یک فیوز 35 آمپری به جای فیوز 63 آمپری در ابتدای خط میتوان این کار را انجام داد.

در صورتی که مداری به چند انشعاب موازی تقسیم شود، محافظت هر یک از قسمتها بسته به ظرفیت مجاز آن ضروری است. برای مثال در شکل ۷-۲۱ مدار اصلی سیم 6 میلیمتر مربع چند لا در هوای 25° درجه است که به سه انشعاب $2/5$ ، $1/5$ و 1 میلیمتر مربع تقسیم شده است. اندازه فیوز های مناسب که در شکل نشان داده شده اند از جدول ۷-۲ به دست آمده اند.

۳-۱۱-۷ - محافظت انشعاب موتورها

در موتورهای القایی ممکن است جریان شروع تا حدود 7 برابر جریان بار کامل باشد. بنابر این در صورتی که انتخاب فیوز محافظ بر اساس جریان اسمی انجام شود و به جریان راه اندازی توجه نشود، فیوز در زمان راه اندازی خواهد سوخت. به این منظور

در استانداردهای آلمانی برای موتورهای لفایی بدون راه انداز که منبع تغذیه متصل می‌شوند کوچکترین فیوز تأخیری می‌شود که ۶ برابر جریان اسمی را برای مدت ۵ ثانیه تحمل کند. و در مورد موتورهایی که به راه انداز ستاره مثلث مجهز می‌باشند، کوچکترین فیوز اختیار می‌شود که ۲ برابر جریان اسمی را به مدت ۱۵ ثانیه تحمل کند. در استاندارد آمریکایی اندازه فیوز سریع را ۳ برابر جریان اسمی موتور و اندازه فیوز تأخیری را ۱/۷۵ برابر جریان اسمی موتور انتخاب می‌کنند. این روش محاسباتی را با حل مثالی روشن می‌کنیم.



شکل ۷-۲۱: تقسیم مدار اصلی به سه انشعاب موازی

مثال ۳-۷

یک موتور القایی سه فاز ۳۸۰ ولت ۳۰ کیلو وات دارای ضریب توان ۰/۸۶ و راندمان ۰/۹۰ است. اندازه فیوز تأخیری مناسب را برای انشعاب موتور حساب کنید. موتور فاقد راه انداز است. جریان اسمی موتور چنین است:

$$I = \frac{30 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.86 \times 0.9} = 58.89$$

$$6 \times 58.89 = 353.34$$

با استفاده از منحنی ۷-۱۹ اندازه فیوز تأخیری که این جریان را به مدت ۵ ثانیه تحمل کند، فیوز ۸۰ آمپری است. بر اساس استاندارد آمریکایی اندازه فیوز تأخیری چنین است:

$$1.75 \times 58.89 = 103.06$$

بنابر این فیوز ۱۰۰ آمپری انتخاب می‌شود.

اندازه فیوز های تأخیری لازم برای حفاظت تعدادی از موتورهای استاندارد سه فاز القایی ۳۸۰ ولت ۵۰ سیکل بدون راه انداز و با راه انداز ستاره مثلث که بر اساس ضوابط آلمانی محاسبه شده است در جدول ۷-۵ آمده است.

در صورتی که انشعابی بیش از یک موتور برقی را تغذیه کند جز در مواردی که دو موتور یا بیشتر در یک لحظه راه انداخته می‌شوند در محاسبه اندازه فیوز جریان شروع بزرگترین موتور و جریان اسمی بقیه موتورها در نظر گرفته می‌شود.

مثال ۴-۷

مداری دو موتور ۵۰ کیلووات و یک موتور ۲۰ کیلووات القایی سه فاز دو قطبی را تغذیه می‌کند. اندازه فیوز مناسب مدار اصلی و مدارهای فرعی هر موتور را تعیین کنید.

با استفاده از معادله (۶-۴) و جدول ۶-۲ جریان این موتورها از این قرار است:

$$I = \frac{50 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.90 \times 0.90} = 93.79$$

$$I = \frac{20 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.88 \times 0.89} = 38.80$$

جريان راه اندازی که فیوز اصلی باید به مدت ۵ ثانیه تحمل کند از این قرار است:

$$6 \times 93.79 + 38.80 = 601.54$$

با استفاده از منحنی ۷-۱۹ فیوز ۱۶۰ آمپری تأخیری انتخاب می شود. جريان راه اندازی که فیوز موتور ۵۰ کیلوواتی باید به مدت ۵ ثانیه تحمل کند چنین است:

$$93.79 \times 6 = 562.74$$

از منحنی ۷-۱۹ فیوز ۱۲۵ آمپری تأخیری اختیار می شود.

جريان راه اندازی که فیوز موتور ۲۰ کیلو واتی باید به مدت ۵ ثانیه تحمل کند چنین است:

$$6 \times 38.80 = 232.80$$

بنابر این فیوز تأخیری ۶۳ آمپری انتخاب می شود.

جدول ۵-۷: اندازه فیوز تأخیری برای انشعاب موتورهای القایی سه فاز ۳۸۰ ولت

اندازه فیوز		اندازه موتور		
با راه انداز	بدون راه انداز	اسپ بخار	کیلووات	
-	۲	۰/۳۳	۰/۲۵	
-	۲	۰/۵۰	۰/۳۷	
-	۴	۰/۷۵	۰/۵۵	
۴	۶	۱/۵	۱/۱	
۶	۱۰	۳	۲/۲	
۱۰	۱۶	۵/۴	۴	
۱۶	۲۰	۷/۵	۵/۵	
۲۰	۲۵	۱۰/۲	۷/۵	
۲۵	۳۵	۱۵	۱۱	
۳۵	۵۰	۲۰	۱۵	
۵۰	۶۳	۳۰	۲۲	
۶۳	۸۰	۴۰	۳۰	
۸۰	۱۰۰	۵۲	۳۸	
۱۰۰	۱۲۵	۶۸	۵۰	
۱۲۵	۱۶۰	۸۶	۶۱	
۱۶۰	۲۰۰	۱۲۱	۹۰	

لازم به تذکر است که فیوز هایی که به ترتیب بالا انتخاب می شوند دارای اندازه ای خیلی بزرگتر از جريان موتورها و سیم های انشعابی می باشند ولذا موتور و مدار را در مقابل بار اضافی حفاظت نمی کنند. لذا استفاده از این گونه فیوز ها تنها زمانی جایز است که موتورها به وسیله حفاظت در مقابل بار اضافی مجهز باشند. در این صورت فیوز مدار انشعاب، موتور و وسایل کنترل متور را در مقابل اتصال کوتاه محافظت می کند و وسیله حفاظتی مotor مدار را نیز در مقابل بار اضافی حفظ می نماید . روشهای حفاظت موتور در مقابل بار اضافی بعداً تشریح می شوند.

۱۲-۷- حفاظت با کلید ها با قطع خودکار (دیزناکتورها)

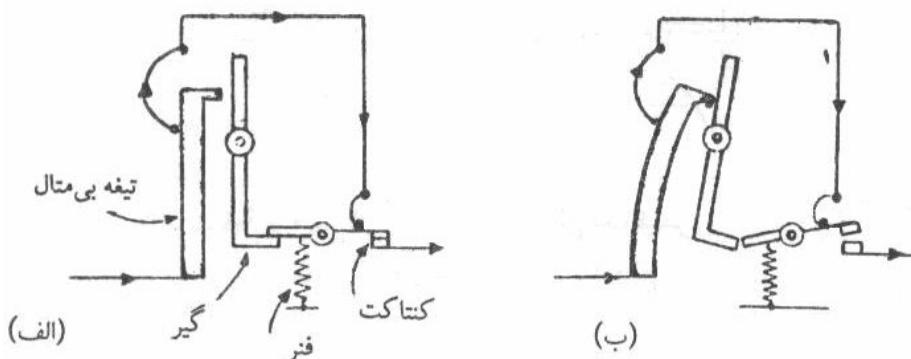
کلید با قطع خودکار یا دیزناکتور دو عمل کنترل و حفاظت را توانماً انجام می دهد و از این نظر مانند یک کلید به انضمام یک فیوز عمل می کند . در شرایط عادی دیزناکتور مانند یک کلید عمل می کند که به طور دستی یا به طور الکتریکی از راه دور با قطع

یا وصل می شود. در شرایط غیر عادی مانند بار اضافی یا اتصال کوتاه دینزکتور خود به خود قطع شده و مدار را باز می کند. قطع اتوماتیک به چند صورت مختلف نظیر قطع حرارتی، قطع مغناطیسی یا ترکیبی از این دو انجام می شود.

۷-۱-۱۲-۷- نحوه قطع دینزکتورها

۷-۱-۱۲-۷- دینزکتورها با قطع حرارتی

قطع حرارتی با تأخیر عمل می کند و برای حفاظت در مقابل بار اضافی مورد استفاده قرار می گیرد. شماتیک این نوع کلید خودکار در حالت قطع و وصل در شکل ۲۲-۷ نشان داده شده است.

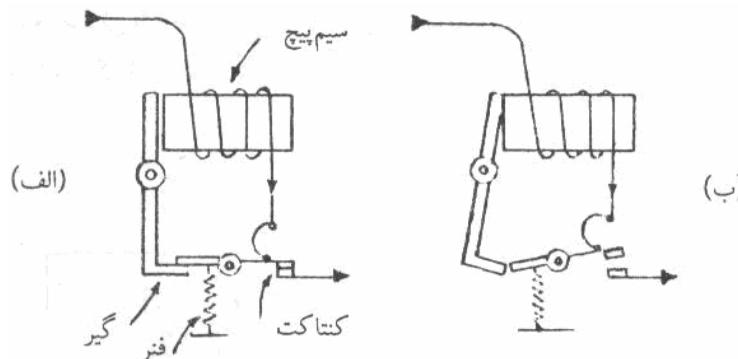


شکل ۷-۲۲: کلید خودکار با قطع حرارتی : الف- حالت وصل، ب- حالت قطع

کلید مطابق شکل به طور متواالی با مداری که کنترل می کند قرار گرفته و جریان مدار از یک نوار بی متال می گذرد. این نوار از دو فلز با ضرایب انبساط مختلف ساخته شده و در صورتی که جریان از حد معینی افزایش یابد حرارت تولید شده در بی متال سبب خم شدن آن می شود که با فشار بر اهرم مقابل، گیره نگاه دارنده، کنتاکت را آزاد می کند و سبب قطع کلید می شود. این کلیدها برای ولتاژ ۳۸۰ ولت تا حدود ۶۳ آمپر ساخته می شوند.

۷-۱-۱۲-۷- دینزکتور با قطع مغناطیسی

قطع مغناطیسی بدون تأخیر عمل می کند و به منظور حفاظت در مقابل اتصال کوتاه مورد استفاده قرار می گیرد. شماتیک این گونه کلید در شکل ۷-۲۳ نشان داده شده است. جریان مدار از حد معینی سیم پیچی که دور هسته مغناطیسی پیچیده شده عبور می کند. در صورتی که جریان از حد معینی افزایش یابد نیروی مغناطیسی به حدی می رسد که اهرم آهنی را به خود می کشد و با آزاد کردن آن کنتاکت کلید را قطع می کند.

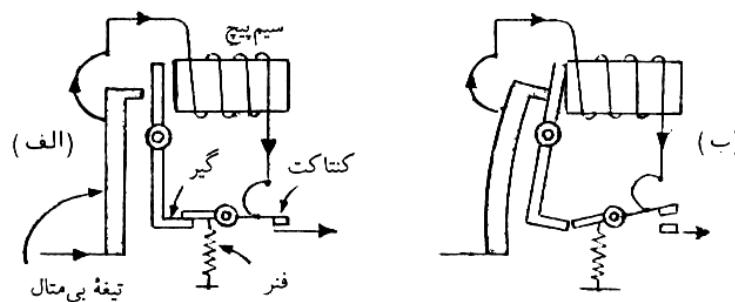


شکل ۷-۲۳: کلید خودکار با قطع مغناطیسی:

الف- حالت وصل، ب- حالت قطع

۷-۱۲-۳- دیژنکتور با قطع حرارتی و مغناطیسی

این کلید که در شکل ۲۴-۷ نشان داده شده است به قطع حرارتی و مغناطیسی مجهز است. قطع حرارتی حفاظت در مقابل بار اضافی را عهده دار است و به علت عملکرد تأخیری اضافه بارهای کوچک لحظه‌ای سبب قطع آن نمی‌گردد. قطع مغناطیسی در صورت بروز اتصال کوتاه، مدار را فوراً قطع می‌کند. قطع مغناطیسی همچنین قطعه بی مثال را در صورت بروز اتصال کوتاه حفظ می‌کند و از سوختن آن جلوگیری به عمل می‌آورد.



شکل ۲۴-۷: کلید خودکار با قطع حرارتی و مغناطیسی، الف- حالت وصل، ب- حالت قطع

۷-۱۲-۴- دینزکتور کوچک (مینیاتور) یا فیوزهای اتوماتیک

برای کنترل مدار روشنایی و بارهای خانگی و تجاری امروزه از دینزکتورهای کوچک استفاده می‌شود که عمل کنترل و حفاظت تواناً انجام می‌هند.

با این وسیله در حالت عادی قطع و وصل دستی انجام می‌شود و در صورت بروز بار اضافی یا اتصال کوتاه مدار بی مثال یا قطع کننده مغناطیسی مدار را قطع می‌کند و دسته به محل قطع بر می‌گردد. دینزکتورهای کوچک از نظر حفاظت به فیوزها ارجح هستند چون دقت عمل بیشتر دارند و پس از قطع صدمه نمی‌بینند و می‌توان پس از رفع عیب به سرعت مدار را مجدداً وصل کرد. علی‌رغم قیمت بالاتر آنها در مقایسه با کلید و فیوز، استفاده از آنها روز به روز معمولتر می‌شود. در شکل ۲۵-۷ سه دینزکتور کوچک یک قطب، دو قطب و سه قطب، جهت نصب در تابلوها و یک دینزکتور پیچی که بیشتر در خانه‌ها معمول هستند را ملاحظه می‌کنید.

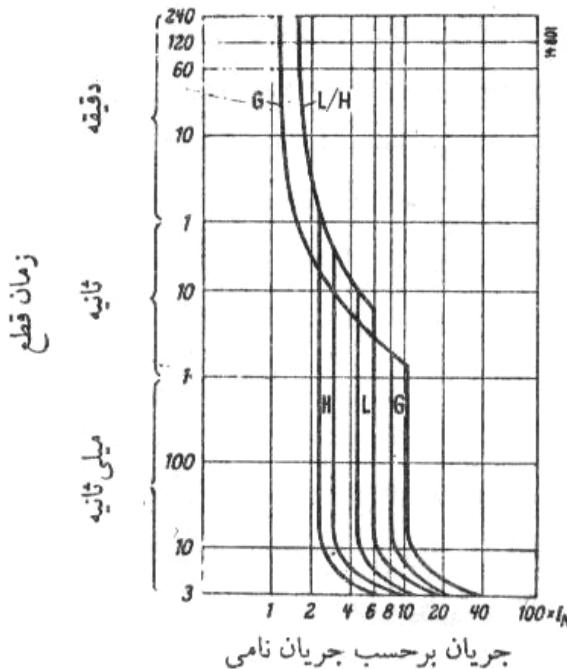


شکل ۲۵-۷: دینزکتورهای یک قطبی، دو قطبی و سه قطبی و نوع پیچی

این دینزکتورهای کوچک در اندازه‌های ۶، ۱۰، ۱۶، ۲۰ و ۲۵ آمپر موجود است. مشخصات دو نمونه از این دینزکتورها در

شکل ۲۶-۷ نشان داده شده استain منحنی‌ها زمان متوسط قطع را با میزان جریان نشان می‌دهد.

در دینزکتور نوع H قطع فوری در جریانی حدود ۳ برابر جریان اسمی انجام می شود و به این دلیل برای کنترل مدار چراغهای التهابی مناسب نیست زیرا این چراغها در شروع به علت سرد بودن چراغ و کم بودن مقاومت آنها برای مدت کوتاهی جریانی در حدود ۱۲ برابر جریان اسمی مدار می کشد که سبب قطع این کلیدها می گردد و بهتر است از نوع G استفاده شود. در چراغهای فلورسنت که به خازن ضریب قدرت مجهز نیستند، این عیب موجود نیست. خازن های اصلاح ضریب قدرت در شروع جریان زیادی میگیرند که ممکن است سبب قطع دینزکتور شود.



شکل ۲۶-۷: مشخصات دینزکتورهای مینیاتوری زیمنس

۳-۱۲-۷- دینزکتورهای متوسط و بزرگ

دینزکتورهای ۳۸۰ ولت متوسط تا ظرفیت ۳۰۰۰ آمپر و با قدرت قطع حداقل ۲۵ کیلو آمپر با ساختمانی شبیه دینزکتورهای کوچک ساخته می شوندو در بدنه های قالب گیری شده از جنس پلاستیک یا فیبر شیشه قرار می گیرند و به دینزکتورهای دارای بدنه قالب ریزی شده (molded case circuit breakers) معروف شده اند. قطع و وصل این دینزکتورها دستی است و قطع اتوماتیک آن به وسیله قطع کننده حرارتی و مغناطیسی صورت می گیرد.

در ولتاژ ۳۸۰ ولت برای جریانهای بیشتر تا حدود ۶۰۰۰ آمپر با قدرت قطع تا ۱۳۰ کیلو آمپر از دینزکتورهای بزرگتر که دینزکتور قدرت نام گرفته اند و در جعبه های فلزی نصب می شوند استفاده می شود. که قطع و وصل آنها از طریق پر کردن فنر به طور دستی یا با موتور برقی می باشد. قطع اتوماتیک این دینزکتورها با فرمان رله های الکترومغناطیسی انجام می شود.

کلیه دینزکتورهای ولتاژ ضعیف ۳۸۰ ولت امروزه هوایی هستند، به این معنی که قطع و وصل کن tactهای آنها در هوا صورت می گیرد و جرقه گیرهای عایقی که روی کن tactهای ثابت قرار می گیرند جرقه را محدود کرده و از انتشار آن جلوگیری می کنند. در مصارف صنعتی علاوه بر ولتاژ ۳۸۰ ولت وسایلی با ولتاژهای $\frac{2}{3}$ کیلو ولت، $\frac{6}{6}$ کیلو ولت و گاهی ۱۱ کیلو ولت مورد استفاده قرار می گیرند. دینزکتورهایی که در این موارد مورد استفاده بوده ، در گذشته روغنی بوده اند که به علت نیاز تعمیراتی زیاد ، خطرات آتش سوزی به علت روغن امروزه کمتر دیده می شوند و دینزکتورهای هوایی جانشین آنها شده اند. در ولتاژهای بالاتر از ۱۱ کیلو ولت که مورد بحث ما نمی باشد استفاده از دینزکتورها که از روغن، هوای فشرده، خلا یا گاز SF6 استفاده می کنند الزامی است.

۱۳-۷ - کنتاکتورها

کنتاکتورها کلیدهای مغناطیسی هستند و برای قطع و وصل مدارها از دور مورد استفاده قرار می‌گیرند. کنتاکتورها به صورت دو قطبی، سه قطبی و حتی چهار قطبی ساخته می‌شوند. در روی قسمت ساکن کنتاکتور به ازاء هر قطب دو کنتاکت وجود دارد و هر قسمت متحرک به تعداد قطبها تیغه‌های فلزی دارد که در هنگام وصل هر کدام به صورت پلی بر روی کنتاکتهای ثابت می‌نشینند. حرکت قسمت متحرک به وسیله جذب بازوی آهنی توسط یک آهنربای الکتریکی انجام می‌شود. با وصل یا قطع مدار آهنربای الکتریکی از هر نقطه دلخواه به وسیله کلیدهای دکمه‌ای می‌توان کنتاکتور را کنترل نمود. به این ترتیب سیمهای مدار اصلی که جریان زیاد حمل می‌کند مستقیماً به سرکنتاکتور می‌روند و تنها یک مدار فرعی کنترل به محل کنترل کشیده می‌شود. این کنتاکتورها به وسایل قطع اتوماتیک نیز مجهز هستند و بیشتر برای کنترل موتورهای برقی به کار گرفته می‌شوند. این کنتاکتورها برای ولتاژ ۳۸۰ ولت در اندازه‌های استاندارد تا ۶۳۰ آمپر ساخته می‌شوند.

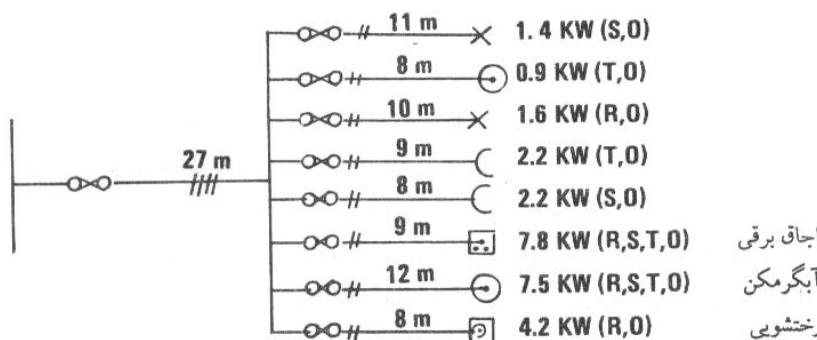
مسائل فصل هفتم

۱- برای مدار یک موتور القایی سه فاز ۳۸۰ ولت ۱۰۰ کیلو وات اندازه فیوز مناسب را حساب کنید. موتور به راه انداز ستاره مثلث مجهز است.

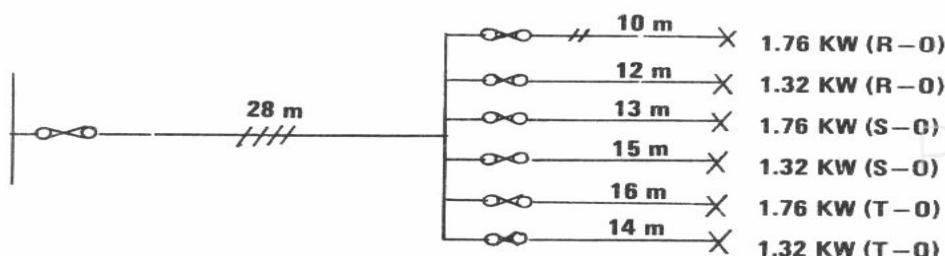
۲- دو موتور القایی سه فاز ۳۸۰ ولت ۵۰ و ۱۰ کیلو وات توسط یک انشعاب اصلی تغذیه می‌شوند. فیوز مناسب کند کار برای انشعابهای فرعی و اصلی را حساب کنید. آیا این فیوزها موتور را علیه بار اضافی حفاظت می‌کنند؟ در صورتی که نمی‌کنند چه باید کرد؟

۳- می‌خواهیم یک موتور القایی سه فاز ۳۸۰ ولت ۱۰ کیلو وات و مدار تغذیه آن را حفاظت کنیم. چه وسیله‌ای برای این کار توصیه می‌کنید؟ اندازه مناسب آن چیست؟

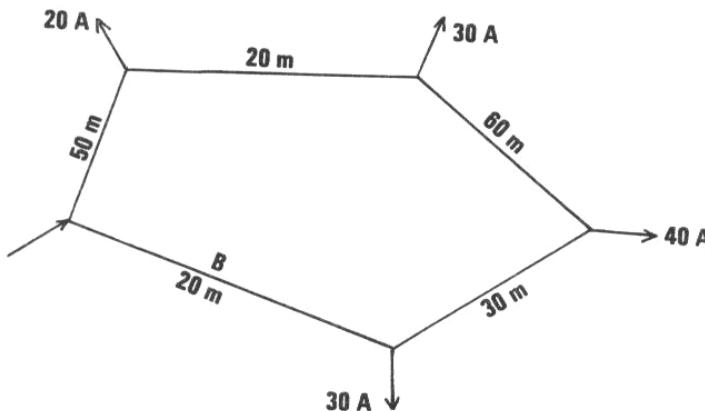
۴- یک منزل مسکونی بزرگ دارای ۸ انشعاب فرعی است و از برق سه فاز استفاده می‌کند. افت ولتاژ مجاز ۲/۵ درصد (سیم اصلی ۱/۵ درصد و سیمهای فرعی ۱ درصد) و ضرب مصرف همزمان خانه ۰/۷۵ و برای انشعابها ۱ است. مقاطع سیمهای واندازه فیوزها مناسب را حساب کنید.



۵- مدارهای روشنایی کارگاهی به صورت زیر است. افت ولتاژ در سیم اصلی ۱ درصد و برای انشعابها ۱/۵ درصد و ضریب مصرف همزمان ۱ است. مقطع سیمهای و فیوز مناسب را حساب کنید



- ۶- در شبکه تک فاز حلقوی زیر از کابل دو سیمی زیر زمینی با مقطع یکسان استفاده شده است. شبکه از یک نقطه تغذیه می شود و ضریب توان همه بارها برابر یک است.



- الف- سطح مقطع کابل دو سیمی لازم را بر اساس جریان مجاز افت ولتاژ مجاز $2/18$ درصد حساب کنید.
- ب- برای حفاظت شبکه در نقاط ورودی استفاده از چه فیوزهایی را توصیه می کنید.
- پ- اگر کابل در نقطه B اتصالی پیدا کند، آیا به عنوان مهندسی قسمت توصیه می کنید با قطع کابل در این نقطه تغذیه همه بارها را از یک طرف به طور موقت ادامه دهنند. در این صورت حداکثر افت ولتاژ چند درصد می شود.
- ۷- یک خط توزیع هوایی سه فاز سه سیمی $380\text{-}60\text{-}380$ متر بار سه فاز متعادل 100 کیلو ولت آمپر در ضریب توان 0.8 تاخیری را تغذیه می کند. فاصله سیم‌های مجاور 75 سانتیمتر است.
- الف- مقطع سیم مسی لازم را بر اساس جریان مجاز و افت ولتاژ مجاز 2 درصد حساب کنید و اندازه فیوز مناسب برای حفاظت خط را تعیین کنید.
- ب- اگر باریک موتور القایی سه فاز 111 اسب بخار با ضریب توان $0.9/0.92$ مجهز به راه انداز ستاره- مثلث باشد، آیا فیوز انتخاب شده در موقع راه اندازی موتور را قطع می کند؟ آیا فیوز انتخاب شده موتور را در مقابل بار اضافی حفاظت می کند؟

فصل هشتم

سیستم‌های سیم کشی داخلی

در ابتدای صنعت برق رسانی سیمهای عایق دار را بدون هیچ گونه حفاظتی در روی دیوار و سقف نصب می‌کردند و از داخل دیوارها عبور می‌دادند. کلیدها و پریزها هم روی سطح دیوارها قرار می‌گرفت و اتصال برقی آنها نیز آشکار و در دسترس بود. با این که این سیستمهای غیر ایمن در کشورهای پیشرفته امروزه کاملاً متروک است، در ایران هنوز بسیاری از آنها موجودند. البته به طوری که خواهیم دید برق کشی نباید لزوماً زیر کار یعنی در داخل دیوارها باشد و سیستمهای روکار به شرط رعایت مقررات ایمنی لازم، بدون اشکال می‌باشند. کابلها و سیمهای عایق دار را که غلاف مناسب دارند می‌توان بدون حفاظت اضافی روکار یا توکار مورد استفاده داد، لیکن سیمهای عایق دار بدون غلاف را لازم است جهت حفاظت در داخل لوله یا جا سیمی یا کانالهای مخصوص نصب کرد.

هدف این فصل معرفی روش‌های صحیح نصب سیمها و کابلها در سیم کشی داخلی است. انتخاب بهترین روش، کار مشکلی است زیرا در آن بایستی به حفاظت مکانیکی لازم، زیبایی ظاهر، هزینه، امکان توسعه و غیره توجه شود. برای مثال کابلهای PVC که معمولاً در اماكن مسکونی مورد استفاده قرار می‌گيرند به علت نداشتن حفاظت مکانیکی کافی برای مراکز صنعتی نظير کارخانه ذوب آهن مناسب نیستند. بر عکس کابلهای زرده دار که در مراکز صنعتی مورد استفاده قرار می‌گيرند به علت حجم، وزن و قیمت زیاد و وزشتی ظاهر در مصارف خانگی مورد استفاده قرار نمی‌گيرند.

۱-۸- محفوظت های کلی در سیستمهای سیم کشی

کلیه سیستمهای سیم کشی داخلی باید بعضی حفاظتهای لازم را تامین کنند که برای جلوگیری از تکرار در اینجا جمع آوری شده‌اند.

٨-١-١- محافظت علیه صدمات مکانی

کابلها و سیمهای روکار یا توکار باید طوری محافظت شوند که ضربات مکانی نتوانند آسیبی به آنها وارد کنند. سیم کشی روکار در معرض دید است و از ضربات مکانیکی غیر عمده مصون می‌باشد. سیم کشی توکار در معرض دید نیست و به سهولت می‌توان در وقت کوبیدن میخ برای نصب یک تابلو نقاشی، سیم یا کابل را معیوب کرد که ممکن است با خطرات جانی نیز همراه باشد. به این دلیل اغلب مقررات ایمنی در برق رسانی مقرر می‌دارند که کابلها و سیمهای بدون غلاف که توکار نصب می‌شوند به وسیله نصب در لوله حفاظت شوند.

۲-۱-۸ - حفاظت علیه توسعه آتش و دود

غالباً برای عبور دادن سیمها از اتاق به اتاق دیگر سوراخهایی در دیوارها یا کفها تعییه می‌شود و در تکمیل کار به زیبایی ظاهری کفایت می‌شود و سوراخها را به طور موثر پر نمی‌کنند. از این نقاط آتش می‌تواند به سهولت به اتاقهای دیگر سراحت کند و لازم است که این گونه سوراخها با همان موادی که در ساختمان دیوارها به کار رفته است کاملاً پر شود. به این ترتیب آتش سوزی احتمالی که در یک اتاق به وقوع می‌پیوندد، نمی‌تواند به سهولت به اتاقهای دیگر ساختمان سراحت کند. همچنین آتش و حرارت می‌تواند به سهولت از داخل لوله‌ها، کانالها یا جا سیمی‌ها از اتاق به اتاق دیگر برسد و لازم است در مکانهایی که این وسائل از دیوارها یا کفها عبور می‌کنند با قرار دادن موانعی که در مقابل آتش مقاوم باشند، مانع پیشرفت آتش شویم.

۳-۱-۸ - حفظ فاصله مناسب از لوله‌های تاسیسات دیگر

در غالب مقررات قوی توصیه شده است که تاسیسات سیم کشی برق رسانی را از تلفن و وسائل مخابراتی دیگر و همچنین از لوله‌های گاز و آب دور نگاه داریم. در مواردی که این امر ممکن نشود لازم است که بدنه فلزی لوله‌های برقی با دیگر لوله‌ها متصل شود. در صورتی که این کار به خوبی انجام نشود، در صورت اتصال فاز به لوله برق اختلاف پتانسیلی بین لوله‌های برق و دیگر لوله‌ها نظری آب و گاز به وجود می‌آید که ممکن است سبب برق گرفتگی و یا برقرار شدن جرقه و آتش سوزی گردد.

۴-۱-۸ - حفاظت علیه اثرات تلفات جریانهای گردابی و هیسترسیس

در کابلهای دو سیمی که در مدارهای تک فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند جریان رفت با جریان برابر است و اثر مغناطیسی یکدیگر را خنثی می‌کنند و در صورتی که این کابلها به غلاف و زره فلزی نیز مجهر باشند جریانی در آنها القاء نمی‌شود. کابلهای سه سیمی یا چهار سیمی که در مدارهای سه فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز همین خصوصیت را دارند، چون مجموع جریانها در هر لحظه برابر صفر است. در مواردی که از کابلهای یک سیم یا یک سیم در لوله استفاده می‌شود این امر صادق نمی‌باشد و جریان سیم سبب برقراری میدان مغناطیسی در غلاف و زره فلزی یا لوله می‌شود که سبب ایجاد تلفات حرارتی به علت جریانهای گردابی در غلاف و زره می‌گردد. در صورتی که غلاف و زره یا لوله از فلزات مغناطیسی از خانواده آهن باشند، علاوه بر تلفات فوق تلفات هیسترسیس نیز موجود خواهند بود. به این علت مقررات نسبت به استفاده از کابلهای یک سیمی که به غلاف و زره فلزی مجهر هستند خیلی بی میل هستند و ارجح است که مورد استفاده قرار نگیرند.

۲-۸ - سیم کشی روکار بدون استفاده از لوله‌های محافظ

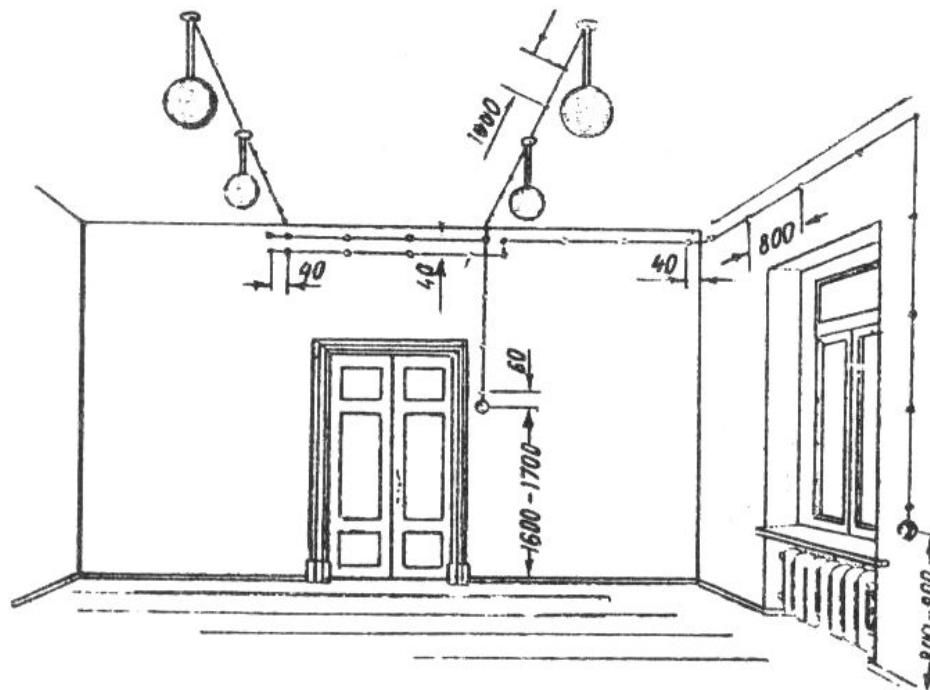
در سیم کشی روکار از سیمها عایق دار بدون غلاف یا با غلاف استفاده می‌شود. سیمها عایق دار بدون غلاف را روی مقره‌های عایق نصب می‌کنیم و سیمها غلاف دار را به وسیله گیرهای مخصوصی به دیوار یا سقف محکم می‌کنیم.

۱-۲-۸ - سیم کشی روکار با استفاده از مقره

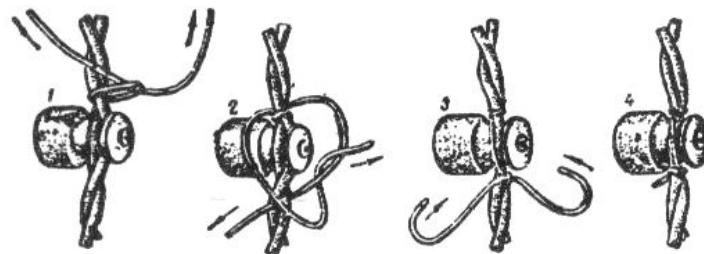
این قبیل سیم کشی برای اماکنی مثل انبارها، راهروها، راه پله‌ها و خانه‌های ارزان قیمت که زیبایی ظاهری عامل مهمی به حساب نمی‌آید مناسب است. کار تمام شده مطابق شکل ۱-۸ می‌باشد.

به طوری که ملاحظه می‌کنیم در این روش سیم کشی سیمها در ارتفاع زیاد نصب می‌شوند و کلیدها هم در حدود ۱/۵ متر از کف و خارج از دسترس بچه‌ها می‌باشد. سیم در فواصلی در حدود یک متر به مقره‌ها محکم می‌شود. روش صحیح اتصال سیمها به مقره‌ها در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. در هنگام گذشتن از جزءها و دیوارها سیمها را از داخل لوله‌ها عبور می‌دهیم.





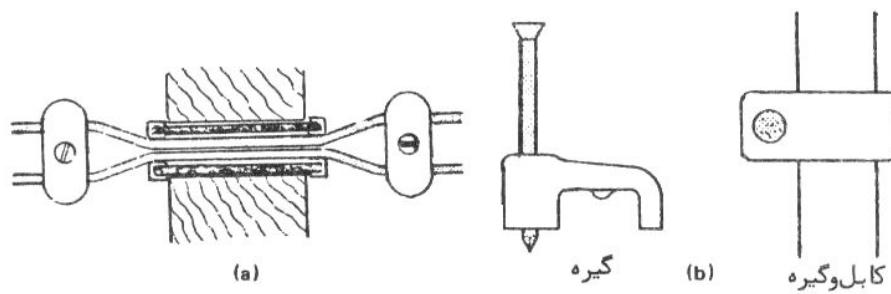
شکل ۸ - ۱ : سیم کشی با استفاده از مقره



شکل ۸ - ۲ : اتصال صحیح سیم به مقره

۸-۲-۸ - سیم کشی روکار با استفاده از بستهها و گیره ها

سیمهای کابلها با غلاف پی-وی-سی را می توان در سیم کشی روکار مورد استفاده قرار داد و به وسیله بستهای مخصوص به دیوارها متصل نمود. در شکل ۳-۸-(a) بستهای مخصوص برای اتصال سیمهای عایق دار و در شکل ۳-۸-(b) گیره های مخصوص پلاستیکی برای کابل با غلاف پلاستیک نشان داده شده است.



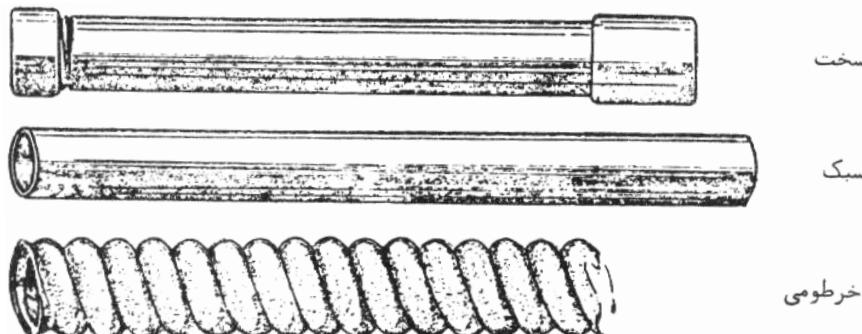
شکل ۸ - ۳ : سیم کشی روکار با استفاده از بستهها و گیره ها

غلاف این سیم ها را می توان همرنگ دیوارها انتخاب کرد و در زمان نقاشی آنها را همرنگ کرد. در این صورت این گونه سیم کشی لطمه های به زیبایی نخواهد زد.

۳-۸- سیم کشی در داخل لوله

سیم کشی در داخل لوله به منظور حفاظت مکانیکی انجام می‌شود و در تاسیسات توکار یا روکار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برق رسانی صنعتی معمولاً نیازی به پنهان کردن لوله‌ها در داخل دیوار و سقف‌ها نیست، لیکن در مراکز مسکونی و تجاری به منظور زیبایی، لوله‌ها توکار نصب می‌شوند. فایده مهم دیگر استفاده از لوله در این است که در صورت صدمه دیدن سیمی می‌توان بدون وارد آوردن خرابی به ساختمان آن را بیرون کشید و سیم سالمی در لوله جا داد. همچنین لوله‌ها محیط خارج را از داخل جدا می‌کنند و در صورت اتصال سیمها جرقه به خارج راه پیدا نمی‌کند که در مرازی که گازهای قابل اشتعال وجود دارند، امتیاز مهمی به شما می‌آید. لوله‌های فلزی می‌توانند نقش سیم زمین را ایفا کنند و بنابراین در استفاده از لوله‌ها، کشیدن سیم زمین جدأگانه ضرورت ندارد.

نصب لوله‌های توکار بایستی در زمان مناسب انجام شود تا موجب کندن و تعمیرات غیر ضروری نگردد. بعد از اتمام سفت کاری ساختمان می‌توان سطوح تمام شده را شمشه گیری مشخص کرد و برق کار می‌تواند کار لوله کشی را شروع کند. لیکن به طور معمول این کار بعد از کاه گل یا گچ خاک کردن و قبل از سفید کاری انجام می‌شود و در این صورت لازم است که کاه گل مسیر لوله‌ها با تیشه کنده شود که کار خیلی مشکلی نیست. حتماً باید توجه داشت که لوله‌های روی سقف قبل از قیرگونی بام انجام گردد. لوله‌ها انواع مختلف دارند. لوله‌های فلزی دارای سابقه طولانی می‌باشند و لوله‌های پلاستیکی در سالهای اخیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لوله‌های فلزی معمولاً فولادی هستند و لوله‌های آلومینیومی و مس ممکن است خیلی به ندرت دیده شوند. لوله‌های فولادی از سه نوع لوله سخت یا سنگین، لوله برکمن یا سبک به لوله خرطومی تشکیل می‌شوند که در شکل ۴-۸ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۸: انواع لوله‌های فولادی

لوله‌های سخت یا سنگین دارای دیوار ضخیم هستند و اتصال آنها به یکدیگر و به قوطیها به وسیله پیچ و مهره انجام می‌شود. لوله‌های برکمن یا سبک دارای ضخامت کمتر و اتصال آنها با استفاده از بستهای صورت می‌گیرد. لوله‌های خرطومی در مواردی که به علت وجود ارتعاشات مکانیکی، انعطاف پذیری لازم باشد، به کار گرفته می‌شوند.

لوله‌های پلاستیکی به علت قیمت ارزانتر و نصب آسانتر در سالهای اخیر خیلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و آنها هم در سه نوع سخت یا سنگین، سبک و خرطومی ساخته می‌شوند. نوع سخت آن می‌تواند ضربات مکانیکی شدید را تحمل کند. نوع سبک آن نیز دارای استحکام کافی برای نصب توکار می‌باشد، لیکن نوع خرطومی برای مواردی که به علت وجود ارتعاشات مکانیکی، انعطاف پذیری لازم باشد، مناسب است.

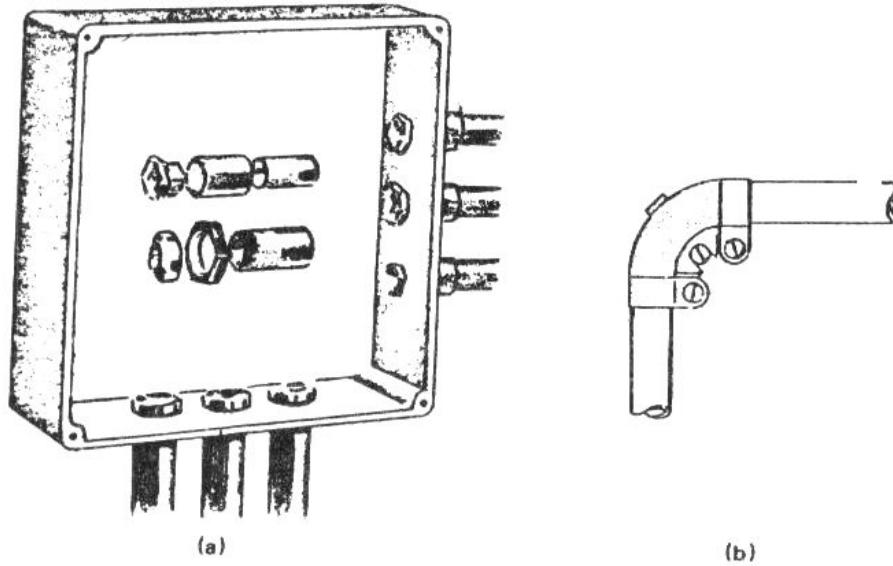
۴-۸- لوله‌های فولادی

در این قسمت با روش‌های نصب لوله‌های فولادی، اندازه‌های استاندارد و ظرفیت مجاز آنها و طریق وارد کردن سیمها به داخل آنها آشنایی کسب می‌کنیم.

۱-۴-۸- نصب لوله‌های فولادی

بهترین و گرانترین روش استفاده از لوله‌های سخت یا سنگین بدون درز و جوش است. این سیستمها استحکام مکانیکی زیاد و عمر دراز و در تاسیسات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اماکن مسکونی، لوله‌های برقی یا سبک که ارزانتر هستند و کار نصب آن هم با هزینه کمتر انجام می‌شود کافی هستند. اختلاف اساسی این دو در اتصالهای است و به طوری که گفته شده لوله‌های سنگین به وسیله پیچ کردن به هم متصل می‌شوند و لوله‌های سبک به وسیله بستهای فلزی متصل می‌گردند. بقیه مراحل نصب یکسان است. این لوله‌ها در طولهای ۳-۴ متر ساخته می‌شوند. قبل از استفاده برقکار باید حتماً نگاهی به داخل آن بکند و از نداشتن گرفتگی اطمینان حاصل کند. سپس لوله‌ها را به اندازه مناسب بریده و تیزی را صاف می‌کنیم تا عایق سیمها را خراش ندهد.

سپس لوله‌ها را مطابق شکل ۵-۸ به هم و به قوطیهای مربوط متصل می‌کنیم. شکل ۵-۸-(a) اتصال لوله سنگین به قوطی را نشان می‌دهد که با پیچ و مهره انجام شده است. شکل ۵-۸-(b) اتصال دو لوله سبک را نشان می‌دهد که به وسیله بست فلزی انجام شده است. ملاحظه می‌کنید که به این ترتیب همه لوله‌ها و قوطیها از نظر الکتریکی به هم متصل می‌گردند. در صورتی که در لوله کشی خمها ۹۰ درجه لازم باشد خمها را بزرگ بگیریم (حداقل $2/5$ برابر قطر لوله) تا عبور دادن سیمها به سهولت انجام گیرد. ضوابط مقرر می‌دارند که هر قسمت لوله کشی واقع بین دو نقطه‌ای که سیم عبور می‌دهیم بیشتر از دو خم ۹۰ درجه یا معادل آن نداشته باشد.



شکل ۵-۸: اتصال لوله‌ها به قوطی و یا به یکدیگر

۲-۴-۸- اندازه‌های استاندارد لوله‌های فولادی و ظرفیت مجاز آنها

لوله‌ها را بر حسب قطر خارجی آنها مشخص می‌کنند و اندازه‌های معمول ۱۶ میلیمتر، ۲۰ میلیمتر، ۲۵ میلیمتر و ۳۲ میلیمتر است، تعداد سیمهایی که می‌توان در هر لوله جا داد بستگی به اندازه سیمها دارد. در صورتی که در هر فرد قسمت لوله کشی بیش از دو خم ۹۰ درجه یا معادل آن وجود نداشته باشد ضوابط مجاز میدانند که ۴۰ درصد سطح مقطع لوله‌ها توسط سیمها اشغال شود. با دانستن تعداد و سطح مقطع سیمها می‌توان به سهولت اندازه لوله لازم را مطابق روش زیر محاسبه کرد.

مثال ۱-۸

می‌خواهیم ۴ سیم $2/5$ میلیمتر مربع هفت رشتہ‌ای و چهار سیم ۶ میلیمتر مربع هفت رشتہ‌ای و عایق PVC را در لوله‌ای قرار دهیم اندازه لوله مناسب را حساب کنید.

با مراجعه به جدول ۲-۴ ملاحظه می‌کنید که قطر خارجی سیم ۳/۶، برابر ۳/۵ میلیمتر و قطر خارجی سیم ۴، برابر ۴/۷ میلیمتر است. در صورتی که سطح مقطع لوله را در A و قطر داخلی آن را برابر d فرض کنیم چنین می‌نویسیم:

$$\frac{40}{100}A = 4 \times \frac{\pi}{4} (3.6)^2 + 4 \times \frac{\pi}{4} (4.7)^2$$

$$\frac{40\pi}{100 \cdot 4} d^2 = 110.11$$

$$D=18.72 \text{ mm}$$

و بنابراین لوله ۲۰ میلیمتری مناسب است.

ظرفیت لوله‌های معمول از نوع سبک و سنگین برای سیمهای عایق دار PVC که بر اساس روش بالا محاسبه شده است در جدول ۱-۸ گردآوری شده است. به طوری که ملاحظه می‌کنید ظرفیت لوله‌های سبک به علت داشتن دیواره نازک‌تر قدری از لوله‌های سنگین هم اندازه بیشتر است.

در صورتی که تعداد خمها لوله در هر قسمت بیش از دو زاویه ۹۰ درجه باشد، لازم است به منظور سهولت عبور دادن سیمها تعداد سیمهای مجاز را قدری کاهش دهیم.

جدول ۱-۸: ظرفیت مجاز لوله‌های فولادی

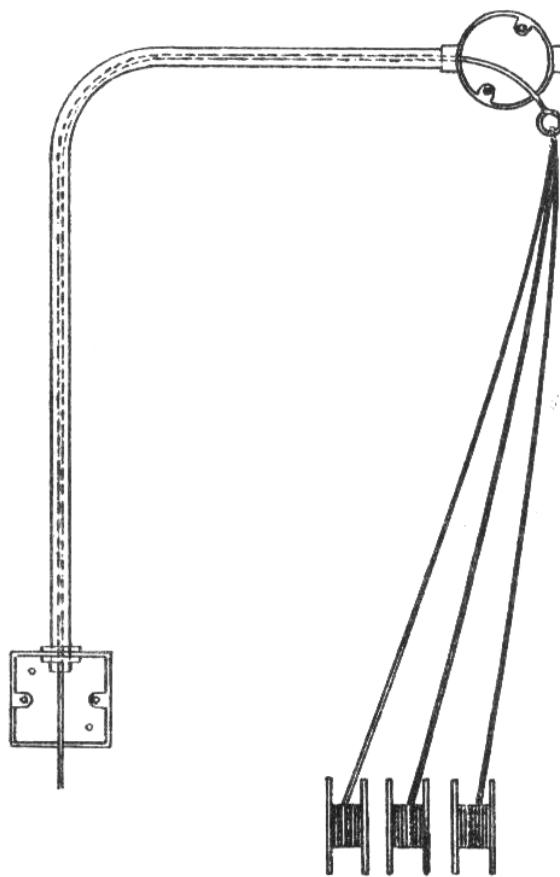
اندازه سیم (میلیمترمربع)	تعداد و قطر رشته‌ها	اندازه لوله							
		۱۶ میلیمتر		۲۰ میلیمتر		۲۵ میلیمتر		۳۲ میلیمتر	
		سنگین	سبک	سنگین	سبک	سنگین	سبک	سنگین	سبک
۱	۱ × ۱/۱۳	۸	۷	۱۲	۱۲	۲۲	۱۹	۳۸	۳۵
۱/۵	۱ × ۱/۳۸	۷	۶	۱۲	۱۰	۱۹	۱۷	۳۳	۳۱
۲/۵	۱ × ۱/۷۸	۵	۴	۹	۸	۱۵	۱۳	۲۶	۲۴
۲/۵	۷ × ۰/۶۷	۴	۴	۸	۷	۱۳	۱۱	۲۲	۲۰
۴	۷ × ۰/۸۷	۳	۳	۶	۵	۱۰	۹	۱۷	۱۶
۶	۷ × ۱/۰۴	۳	۲	۵	۴	۷	۷	۱۳	۱۲
۱۰	۷ × ۱/۳۵	—	—	۳	۲	۴	۴	۸	۷
۱۶	۷ × ۱/۷۰	—	—	—	—	۳	۳	۶	۵
۲۵	۷ × ۲/۱۴	—	—	—	—	۳	۲	۴	۳
۳۵	۱۹ × ۱/۵۳	—	—	—	—	—	—	۳	۲
۵۰	۱۹ × ۱/۷۸	—	—	—	—	—	—	۲	۲

۳-۴-۸- وارد کردن سیم در لوله‌ها

پس از تکمیل لوله‌ها کار داخل کردن سیمهای آغاز می‌شود. همه سیمهای که در یک لوله قرار می‌گیرند بایستی همزمان به داخل لوله کشیده شوند.

به این منظور ابتدا سیم فلزی مخصوصی در داخل لوله وارد می‌کنیم و سر سیمهای را به آن محکم کرده و مطابق شکل ۶-۸ آنها را به داخل می‌کشیم. در کشیدن سیمهای یک رشته‌ای به داخل لوله ممکن است که عایق سیم خراشیده شود، لذا لازم است عایق و سیم هر دو به سیم کش محکم شوند و یا عایق را با چسب به سیم مسی محکم کنیم. هیچگاه نباید سیم دو تکه در داخل لوله کشید چون داشتن اتصال در داخل لوله هر قدر هم خوب انجام شود مجاز نیست.

در کشیدن سیمهای در لوله‌های عمود در صورتی که طول بیشتر از ۵ متر باشد لازم است سیم را به وسیله بست مخصوصیت محکم کرد تا وزن کابل فشار زیاد بر عایق سیمهای وارد نکند و سبب خرابی آنها نگردد. این گونه بستهای را در قوطیهای میان راه می‌توان قرار داد. حتماً باید سیم رفت و برگشت، هر دو در یک لوله قرار گیرد در غیر این صورت مجموع جریانها صفر نمی‌شود و میدان مغناطیسی قابل توجهی ایجاد می‌شود که سبب برقراری جریانهای القایی در لوله و سبب تلفات و بالا رفتن درجه حرارت می‌گردد. دیده شده است که یک سیم حامل ۱۶ آمپر در داخل یک لوله ۲۰ میلیمتری باعث برقراری $2/5$ آمپر در لوله گردیده است. کشیدن سیمهای ولتاژ ضعیف مانند زنگ اخبار و تلفن، همراه با سیمهای برق در همان لوله جایز نیست مگر این که این سیمهای برای ولتاژ ۲۲۰ ولت عایق بندی شده باشند.

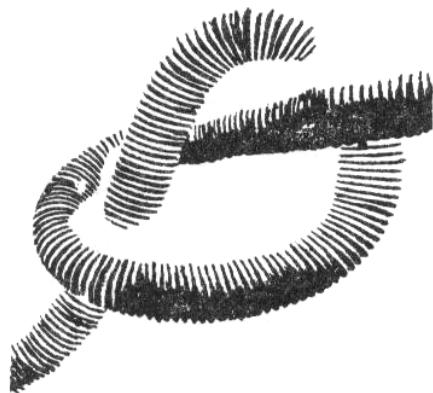


شکل ۸ - ۶: کشیدن سیمهای به داخل لوله

۸-۵- لوله‌های پلاستیکی

در برخی کشورها استفاده از لوله‌های فلزی آن قدر رایج بوده که سبب بروز تعصب علیه لوله‌های پلاستیکی از جنس «پی-وی-سی» گردیده است. در بعضی کشورهای دیگر اصولاً عایق بندی سیم و سپس قرار دادن آن در لوله هادی کاری خلاف منطق به شمار می‌رفته و تکمیل لوله‌های پلاستیکی با استقبال روبه رو شده است به طوری که در بعضی کشورها تنها از این لوله‌ها استفاده می‌شود و حتی در برخی کشورها استفاده از لوله‌های فلزی قდغن است. لوله‌های پلاستیکی به خصوص نوع سنگین یا سخت آن برای بسیاری کاربردها مقاومت مکانیکی لازم را داراست و از زنگ زدگی و خردگی مصنوع است و تعویض سیمهای معیوب داخل آنها نیز امکان پذیر است. وزن مخصوص پی-وی-سی ۱۸ درصد فولاد است و قیمت این لوله‌ها و هزینه نصب آنها هم از لوله‌های فلزی سخت کمتر است. در صورت خرابی عایق یک فاز اتصال کوتاه برقرار نمی‌شود و مدار به کارش ادامه می‌دهد. به علت هادی نبودن لوله نمی‌توان از وجودش به عنوان سیم زمین استفاده کرد و بنابراین لازم است یک سیم اضافی به عنوان سیم زمین در لوله کشیده شود. این لوله‌ها در درجه حرارت‌های بالا نرم می‌شوند و در درجه حرارت پایین شکننده می‌شوند. میزان انبساط یک

لوله ۴ متری برابر ۶/۵ میلیمتر به ازاء افزایش درجه حرارت به میزان ۴۵ درجه است که بیش از انبساط لوله های فولادی است و باید در لوله کشی در نظر گرفته شود. لوله های پلاستیکی از جنس پی - وی - سی ساخته می شوند و در سه نوع سخت یا سنگین - سبک و خرطومی موجود می باشند. نوع سخت و سبک آن در طولهای ۳ تا ۴ متر ساخته می شوند و لوله های خرطومی به طولهای تا ۴۵ متر موجودند. لوله پلاستیکی خرطومی مطابق شکل ۷-۸ می باشد. لوله سخت برای سیم کشی روکار و نوع سبک برای سیم کشی توکار مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۷-۸: لوله پلاستیکی خرطومی

۱-۵-۸- اندازه های استاندارد لوله های پلاستیکی و ظرفیت مجاز آنها

اندازه های استاندارد لوله های پلاستیکی با لوله های فولادی یکی است و ظرفیت آنها از نظر تعداد سیمهای مجاز مطابق جدول ۲-۸ می باشد که با ظرفیت مجاز لوله های فولادی تفاوت چندانی ندارد.

جدول ۲-۸: تعداد سیمهای مجاز در لوله های پلاستیکی

اندازه سیم	تعداد قطر رشتہ ها	۱۶ میلیمتر	۲۰ میلیمتر	۲۵ میلیمتر	۳۲ میلیمتر
۱	۱ × ۱/۱۲	۷	۱۲	۲۰	۳۴
۱/۵	۱ × ۱/۳۸	۶	۱۱	۱۸	۳۰
۲/۵	۱ × ۱/۷۸	۵	۸	۱۴	۲۳
۲/۵	۷ × ۰/۶۷	۴	۷	۱۲	۲۰
۴	۷ × ۰/۸۷	۳	۵	۹	۱۵
۶	۷ × ۱/۰۴	۲	۴	۷	۱۲
۱۰	۷ × ۱/۳۵	-	۲	۴	۷
۱۶	۷ × ۱/۷۰	-	۲	۳	۵
۲۵	۷ × ۲/۱۴	-	-	۲	۳
۳۵	۱۹ × ۱/۵۳	-	-	-	۲
۵۰	۱۹ × ۱/۷۸	-	-	-	۲

۲-۵-۸- نصب لوله های پلاستیکی و سیم کشی در آنها

لوله های نوع سنگین را می توان به یکدیگر یا به قوطیها پیچ کرد. این کار باعث ضعیف شده نقاط اتصال می گردد و امروزه بیشتر برای اتصال از چسب مخصوص استفاده می شود که سطح لوله را حل می کند و به آن جوش می خورد. انواع قوطیهای

پلاستیکی در اندازه‌های مختلف در بازار موجود هستند. خم کردن این لوله‌ها از طریق وارد کردن فنر مخصوصی در داخل لوله‌ای بگیر می‌شود. در درجه حرارت‌های کم این لوله‌ها شکننده می‌شوند و برای خم کردن، آنها را ابتدا قدری حرارت می‌دهند. نکته قابل ذکر دیگر این است که خم این لوله‌ها تمايل به باز شدن دارند و معمولاً باید آنها را حدود ۵ درجه بیشتر از مقدار دلخواه خم کرد.

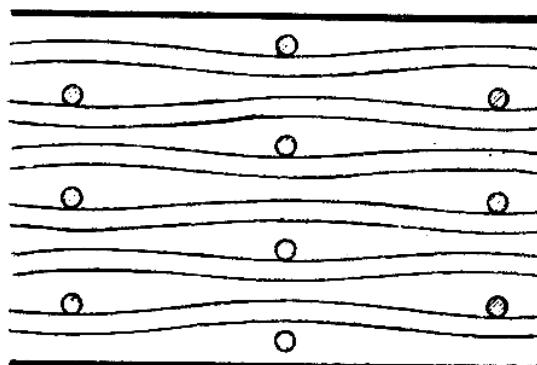
سیم کشی در داخل لوله‌های پلاستیکی بخصوص در مورد لوله‌های خرطومی به علت کم بودن مقاومت مکانیکی ممکن است مشکلاتی ایجاد کند. به این منظور در هنگام نصب لوله‌ها سیمهایی در لوله‌ها قرار می‌دهیم تا کشیدن سیمهای را به داخل ممکن کند. ضوابط مقرر می‌دارند که علاوه بر سیمهای مدار، سیم عایق داری به اندازه $1/5$ میلیمتر مربع به عنوان سیم زمین در لوله‌ها کشیده شود.

۶-۸- سیم کشی در جاسیمی‌ها

سیم کشی در جا سیمی‌ها از حدود ۷۰ سال پیش معمول گردیده است و تدریجاً جانشین لوله‌های فولادی با قطر بزرگ شده است. جا سیمی‌های ابتدایی فولادی بوده لیکن امروزه جاسیمی‌های پلاستیکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقطع جا سیمی‌ها به شکل مربع یا مستطیل با اندازه‌های حدود 16×16 میلیمتر تا 150×150 میلیمتر ساخته می‌شوند. جاسیمی‌ها در دو نوع سنگین یا ضخیم و سبک ساخته می‌شوند. دیواره بالای جا سیمی که حکم در جاسیمی را درد به سهولت بیرون می‌آید تا سیمهای را به راحتی در داخل آن قرار دهند.

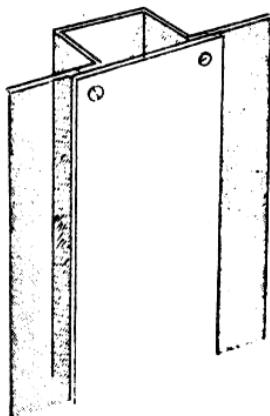
جا سیمی‌ها از لوله‌های هم ظرفیت خود سبک ترند و در مقایسه با لوله‌های روکار نصب آنها آسانتر است. قرار دادن سیمهای در داخل جا سیمی آز کشیدن آنها در لوله آسانتر است و تغییرات یا توسعه سیم کشی در جا سیمی آسانتر است. امتیاز دیگر جا سیمی‌ها در این است که می‌توان آنها را با قسمتهای مجرزا جهت جا دادن سیمهای مربوط به خدمات مختلف مثل تلفن و تلویزیون و غیره ساخت.

اجزاء مختلف مانند خمهای گوناگون، قوطیها، زانوها، و اتصال‌های دیگر برای متصل نمودن جا سیمی‌ها موجود می‌باشد. قرار دادن سیمهای در داخل جاسیمی یا باز کردن درب آن به سهولت انجام می‌شود و سیمهای را در فواصل سه متری با استفاده از میله‌های مخصوص مطابق شکل ۸-۸ مهار می‌کنیم. اتصال کابلها با سیمهای ورودی به جا سیمی با تعییه سوراخهایی در دیوارهای جا سیمی ممکن است. ضوابط مقرر می‌دارند که ۴۵ درصد مقطع جا سیمی برای جا دادن سیمهای اختصاص داده شود که کار عوض کردن سیمهای معیوب و بازرسی به سهولت انجام شود.



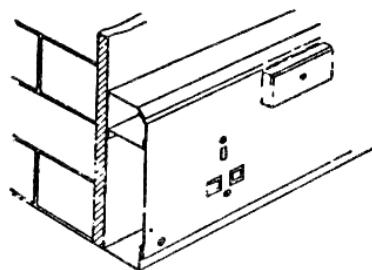
شکل ۸-۸: مهار سیمهای در داخل جاسیمی

جاسیمی‌ها انواع مختلف دارند. نوع همسطح با دیوار آن مطابق شکل ۹-۸ می‌باشد.



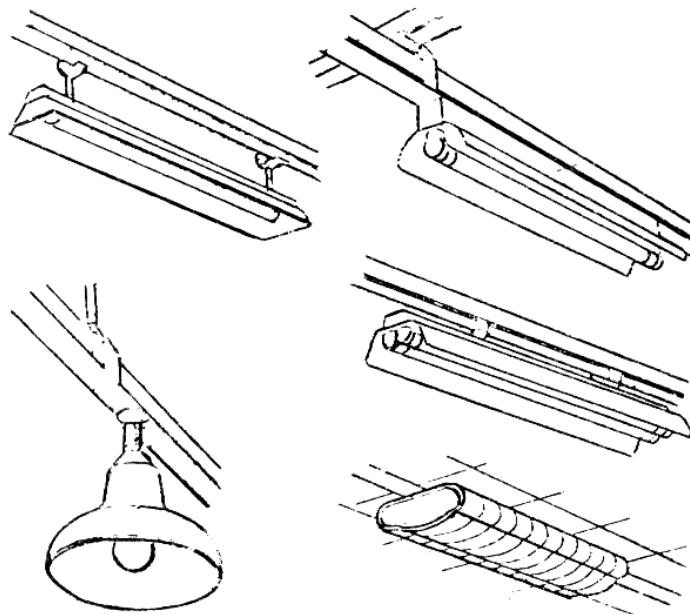
شکل ۸-۹: جاسیمی همسطح با دیوار

نوع روکار آن در شکل ۱۰-۸ نشان داده شده است. جاسیمی نشان داده در شکل دارای دو قسمت مجزا است.



شکل ۸-۱۰: جاسیمی روکار

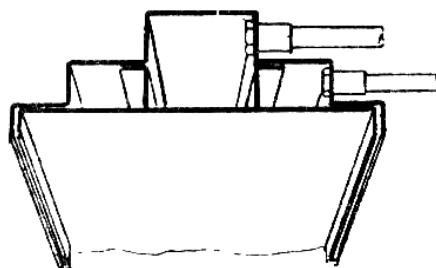
در اماکن صنعتی و تجاری که لامپهای فلورسنت زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند جاسیمی‌های مخصوص در طول ساختمان در سقف تعییه، و چراغهای فلورسنت مطابق شکل ۱۱-۸ روی آنها نصب می‌شوند.



شکل ۸-۱۱: جاسیمی مدارهای روشنایی

در کارخانجات و دفاتر امروزه بیشتر از فضاهای باز وسیع استفاده می‌شود و لازم است به نقاطی دور از دیوارها برق رسانی شود واین تنها از دو طریق ممکن است. در مراکز تجاری بیشتر از جاسیمی‌های زمینی یا از کانال‌ها استفاده می‌شود.

در مراکز صنعتی به طوری که بعداً خواهیم دید زیبایی چندان مورد نظر نیست و این کار از طریق برق رسانی هوایی الجنم می‌شود. یک جاسیمی زمینی با سه قسمت مجزا در شکل ۱۲-۸ نشان داده شده است.

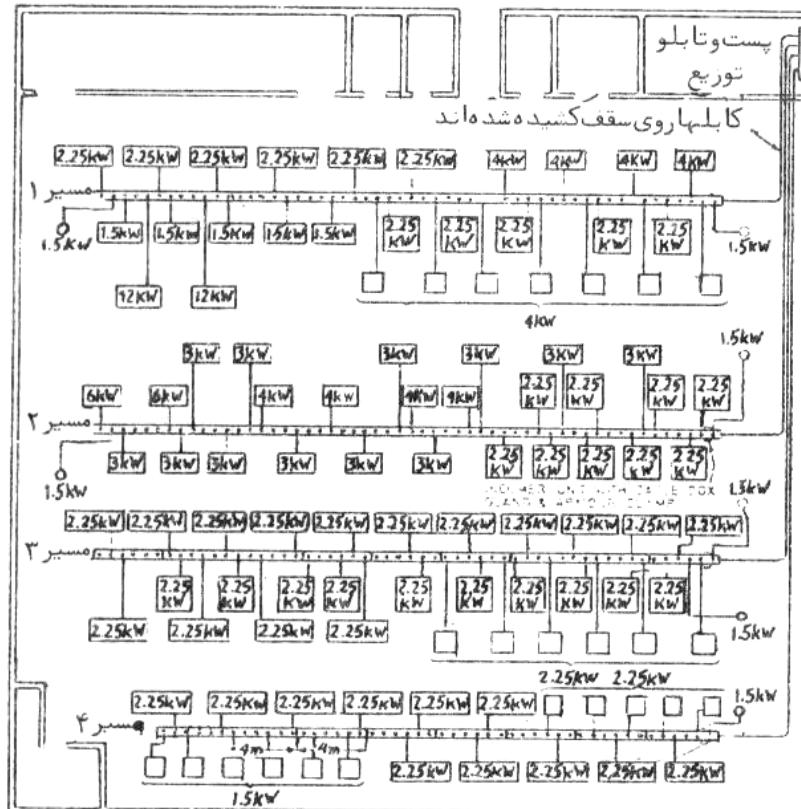


شکل ۱۲-۸ : جاسیمی زمینی

این جاسیمی طوری نصب می‌شود که سطح بالای آن با کف تمام شده همسطح می‌شود و در بالای جاسیمی را از جنس کف ساختمان می‌پوشانند تا لطمehای به زیبایی ساختمان نخورد.

در کارخانجات که از فضاهای وسیع باز و از ماشینهای برقی متعدد استفاده می‌کنند، از جاسیمی شینهای استفاده می‌شود. در این روش به جای سیم عایق دار از شینهای مسی یا آلومینیومی لخت که روی عایقهای سوار می‌شوند استفاده می‌شود که در داخل یک جاسیمی فلزی قرار می‌گیرد. این جاسیمی هم ارتفاع با جرزهای ساختمان در طول کارگاه گاهی در چند ردیف قرار می‌گیرد. موتورهای برقی به طرق مختلف به جاسیمی متصل می‌شوند. برق رسانی به یک کارگاه با این روش در شکل ۱۳-۸ نشان داده شده است.

کابلهای ورودی و خروجی به طرق مختلف به جاسیمی متصل می‌شوند. استفاده از جعبه‌های اتصال در فواصل ۶۰ سانتیمتری ممکن است و در صورتی که لازم شود که ماشین جابجا شود بیرون کشیدن جعبه اتصال از جاسیمی در حالی که شین‌ها برق دار هستند بدون اشکال است.



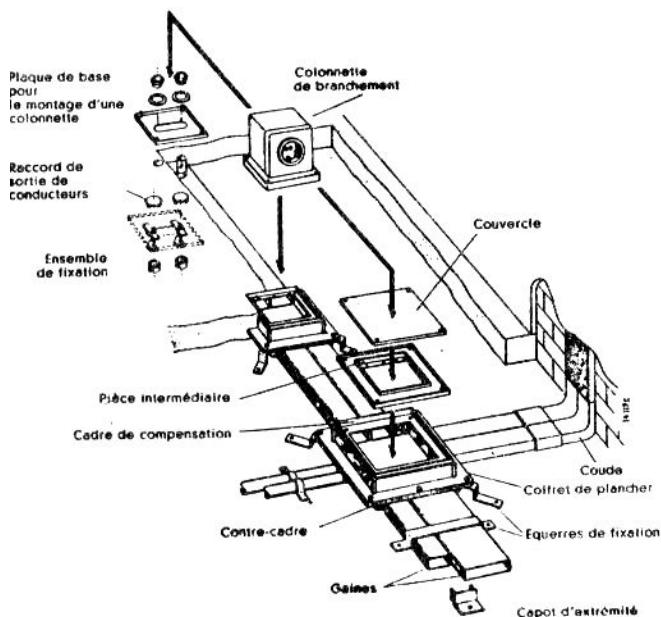
شکل ۱۳ : برق رسانی با استفاده از جاسیمی شینه

برای برق رسانی به آپارتمانهای چندین طبقه از این نوع جاسیمی‌ها که به طور عمودی نصب می‌شوند استفاده می‌شود که به سیمهای بالا رونده معروف شده است.

۷-۸ سیم کشی با استفاده از کانالهای زیرزمینی

در مراکز تجاری و اداری امروز که از فضاهای باز استفاده می‌شود و به منظور زیبایی و سهولت برق رسانی از کانالهای زیرزمینی استفاده می‌شود که در جهات طول و عرض کشیده می‌شوند و در فواصل معین قوطیهای خروجی که با کف همسطح هستند قرار می‌گیرند. به علت کمبود گردش هوا در کانالهای زیرزمینی ضوابط اختصاص ۳۵ درصد مقطع کanal را به سیمها جایز دانسته‌اند.

این گونه کانالهای زیرزمینی رد شکل ۱۴-۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۸ : کanal زیرزمینی

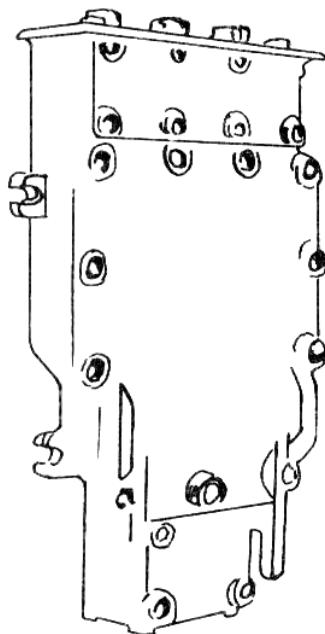
۸-۸ سیم کشی با کابلها با عایق معدنی

در این کابلها هادیها از سیم یک رشته تشکیل شده که در داخل غلاف مسی قرار می‌گیرند. فضای داخل غلاف از اکسید منگنز فشرده پر شده که نقش عایق را ایفا می‌کند. امتیاز اساسی این کابلها این است که در درجه حرارت‌های بالا تا حدود ۲۵۰ درجه سانتیگراد می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. اکسید منگنز به راحتی رطوبت جذب می‌کند و لذا در محل اتصال کابلها از بستهای مخصوص استفاده می‌شود به طوری که رطوبت قادر به نفوذ در آن نباشد.

۹-۸ سیم کشی ضد آتش سوزی

در مراکز صنعتی که هوا آلوده به مواد قابل اشتعال یا انفجار است از سیم کشی ضد آتش سوزی استفاده می‌شود. نمونه این گونه مراکز پالایشگاههای نفت و معادن زغال سنگ می‌باشد. در این گونه سیم کشی، سیمها را در داخل لوله‌های سخت قرار می‌دهیم یا از کابلها با عایق معدنی استفاده می‌کنیم. کلیه وسایل مورد استفاده مانند کلیدها و شینها و غیره از نوع ضد آتش سوزی انتخاب می‌شوند. وسایل ضد آتش سوزی آن قدر محکم ساخته می‌شوند که در صورت انفجار اشتعال در داخل آنها صدمه‌ای به آنها نمی‌رسد و لذا هیچگونه شعله‌ای از آنها خارج نمی‌شود تا سبب اشتعال در خارج گردد. وسایل ضد آتش سوزی، ساختمان محکمی دارند و در آنها به خوبی با آنها جفت می‌شود و با تعداد زیادی پیچ به آن محکم می‌گردند. فشاری که در داخل

آنها به دلیل انفجار ایجاد می‌شود از فاصله بسیار کوچک بین بدنه و در خارج می‌شود و هنگام خروج به قدر کافی سرد می‌شود که نتواند سبب اشتعال در خارج گردد. یک کلید ضد آتش سوزی در شکل ۱۵-۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۸ : نمایش کلید ضد آتش سوزی



فصل نهم

طرح سیستم برق خانه های مسکونی

سیستم برق خانه های مسکونی باید به صورتی طرح و اجرا شود که از اینمی کامل برخوردار باشد و حداکثر استفاده و راحتی را برای ساکنان خانه تامین نماید. در خانه باید نور کافی چه به صورت چراغهای ثابت یا قابل تغییر مکان در دسترس باشد و ساکنان باید به سهولت بتوانند چراغها را روشن یا خاموش کنند، بدون این که لازم شود در تاریکی به زحمت دنبال کلیدها برگردند و یا مجبور شوند چراغهای غیر ضروری را در پشت در سر خود روشن باقی بگذارد. ساکنان باید قادر باشند چراغ، رادیو، تلویزیون، جاروبرقی و دیگر وسایل را در هر نقطه دلخواه به پریز متصل کنند بدون این که مجبور به استفاده از سیمهای رابطه بلند باشند. در اثر برخورد پاهای ساکنان خانه با این سیمهایی رابطه بلند ضایعات بسیاری به بار آمده است. برای برآوردن مقاصد فوق لازم است به نکات زیر توجه شود.

الف- انشعباب، وسیله حفاظت و کنتور خانه باید با ظرفیت کافی انتخاب شوند تا با توجه به افزایش آنی بار الکتریکی خانه موجب افت ولتاژ غیر قبل تحمل یا قطع غیر ضروری وسایل حفاظتی نگردد.

ب- سیمهای انشعبابهای داخلی با اندازه های مناسب انتخاب شود. با این که در انشعبابهای کم اهمیت از سیم ۱/۵ استفاده می شود در بسیاری تاسیسات خانگی امروزی کوچکترین سیم مورد استفاده ۲/۵ می باشد.

پ- تعداد انشعباب های داخلی باید به طور مناسبی انتخاب شود تا به علت سوختن یک فیوز قسمت بزرگ یا همه خانه در تاریکی و بی برقی فرو نرود. هر چه تعداد انشعبابها بیشتر باشد ضریب اطمینان، افزایش می یابد، لیکن هزینه نیز بالا می رود.

ت- تعداد پریزها باید طوری انتخاب شود که استفاده از سیمهای رابط لازم نباشد.

ث- تعداد چراغها باید با میزان نور لازم در قسمتهای مختلف خانه تناسب داشته باشد و کلیدهای کنترل آنها باید در مناسبترین نقاط نصب شوند.

در این فصل ابتدا بارهای الکتریکی خانگی را که از بارهای روشنایی وسایل کوچک خانگی و وسایل بزرگ خانگی تشکیل می شوند مورد بررسی قرار می دهیم و براساس این مطالعه تعداد و اندازه های انشعبابها و انشعباب اصلی را محاسبه می کنیم.

۹-۱- بارهای روشنایی خانگی

برای تامین روشنایی عمومی در قسمتهای مختلف از چراغهای سقفی ثابت استفاده می شود و برای تامین روشنایی موضعی از پروژکتورهای قابل تنظیم و یا چراغهای سیار استفاده به عمل می آید. محاسبه میزان بارهای روشنایی، تعداد انشعبابهای روشنایی، کنترل و حفاظت انشعبابها در این قسمت تشریح می شود.



۱-۱-۹- تعیین میزان بار روشنایی خانگی

بار روشنایی را می‌توان با انجام محاسبات روشنایی به طور دقیق به دست آورد. در صورتی که این محاسبات انجام نشده باشد آن را برابر ۲۰ تا ۳۰ وات بر متر مربع مساحت زیربنا در نظر می‌گیرم (در استاندارد آمریکایی حداقل توان ۳ وات بر فوت مربع یا برابر ۳۲ وات بر متر مربع است). در محلهایی نظیر زیر زمین که به صورت ابزاری مورد استفاده قرار می‌گیرند و احتیاج به نور زیاد ندارند می‌توان ۱۵ تا ۱۰ وات بر متر مربع به کاربرد. برای حیاط خانه ۵ تا ۱۰ وات بر متر مربع کافی است. این مقدار برای استفاده از لامپهای رشته‌دار معتبر هستند و در مورد لامپهای فلورنت که به ندرت در خانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، به علت راندمان نورانی بالاتر ۱/۴ مقدار بالا کافی است.

۱-۲-۹- تعیین انشعابهای روشنایی

به طوری که قبله دیدهایم در برق رسانی خانگی سیمها را در داخل لوله‌ها قرار می‌دهیم و به منظور استحکام مکانیکی کوچکترین سیم مورد استفاده را سیم ۱/۵ انتخاب می‌کنیم. این سیم تحت شرایط عادی می‌تواند بدون اشکال ۱۶ آمپر حمل کند و با توجه به این که هر لامپ ۱۰۰ وات ۰/۴۵۵ آمپر می‌گیرد، تعداد ۳۵ لامپ ۱۰۰ وات را می‌توان از یک انشعاب تغذیه نمود لیکن به طوری که خواهیم دید در بسیاری موارد این روش محاسبه خالی از اشکال نخواهد بود.

مثال ۱-۹

بار روشنایی و تعداد انشعابهای روشنایی یک آپارتمان مسکونی با ۱۱۵ متر مربع مساحت را حساب کنید.

بار روشنایی بر اساس ۳۰ وات بر متر مربع از این قرار است:

$$115 \times 30 = 3450$$

توانی که یک انشعاب ۱/۵ در حرارت ۲۵ درجه حمل می‌کند از این قرار است:

$$220 \times 16 = 3520$$

تعداد انشعابها از این قرار است:

$$3450 \div 3520 = 0/98$$

بنابراین یک انشعاب ۱/۵ کافی است.

استفاده از یک انشعاب روشنایی در مثال بالا با این مشکل همراه است که در صورت اتفاق یک اتصالی در سر پیچ یکی از چراغها همه آپارتمان در تاریکی فرو می‌رود. برای جلوگیری از این گونه مشکلات بیشتر مقررات توصیه می‌کنند. که برای هر ۵۰ متر مربع بنا یک انشعاب روشنایی به کار گرفته شود. بر این اساس تعداد انشعابها در مثال ۱-۹ برابر ۲/۳ است که دو یا سه مدار انتخاب می‌شود.

۱-۳-۹- کنترل چراغهای روشنایی

در ایران برخلاف کشورهای آمریکایی و اروپایی که بیشتر از لامپهای سیار و رومیزی استفاده می‌شود از لامپهای سقفی و دیواری استفاده می‌کنیم و کلیدها را روی دیوار نصب می‌کنیم. در اتاقهای نشیمن و غذاخوری که معمولاً از لوستر استفاده می‌شود، لوسترها را در مرکز اتاق در وسط میز غذاخوری قرار می‌دهیم و چراغهای دیگر را به نحوی قرار می‌دهیم که نور عمومی یکنواخت به دست آید. در مواردی که اتاق یک در داشته باشد کلید را نزدیک در قرار می‌دهیم و در صورتی که اتاق دو در ورودی داشته باشد از دو کلید دو راهه در نزدیک دو در استفاده می‌کنیم. در مورد راه پله‌ها و راهروها دو کلید دوراهه در دو انتهای تعبیه می‌کنیم. کلیدها را معمولاً در ارتفاع ۱۱۰ سانتیمتر از کف تمام شده نصب می‌کنیم.

۴-۱-۹ - حفاظت انشعابهای روشنایی

برای حفاظت انشعابهای روشنایی از فیوزها یا دیژنکتورهای مینیاتوری استفاده می‌کنیم و اندازه آنها را بر اساس ظرفیت سیم انشعاب یا کمتر انتخاب می‌کنیم. در صورتی که سیم انشعاب $2/5$ انتهای شده باشد، فیوز یا دیژنکتور 16 آمپری و در مواردی که سیم انشعاب $1/5$ باشد از فیوز یا دیژنکتور 10 آمپری استفاده می‌کنیم. این وسائل حفاظتی را در تابلو فیوز که ممکن است نزدیکی کنتور باشد، یا در خانه‌های بزرگتر که هر طبقه تابلو فیوز مخصوص به خود دارد قرار می‌دهیم. هیچگاه نباید فیوزها را در نقاط مختلف خانه پخش کرد زیرا علاوه بر ظاهر زشتی که پیدا می‌کند تعویض آنها در موقع اضطراری کار مشکلی است.

۲-۹ - بارهای کوچک خانگی

بارهای کوچک خانگی نظیر رادیو، تلویزیون، ضبط صوت، گرام، جاروبرقی، چراغ رومیزی، بخاری برقی، وسائل برقی آشپزخانه و غیره محل ثابتی ندارند و از طریق پریزهای استاندارد 10 آمپری تغذیه می‌شوند. در این قسمت تعیین میزان این بارهای تعداد انشعابهای لازم کنترل و حفاظت این انشعابها را بررسی می‌کنیم.

۱-۲-۹ - تعیین میزان و روش تغذیه بارهای کوچک خانگی

بارهای برقی آشپزخانه‌های امروزی قابل ملاحظه است و دائما در حال افزایش می‌باشد. بارهای دیگر خانگی به استثنای بخاریهای برقی معمولاً کوچک هستند و به طور متوسط جریانی از $0/5$ تا $0/75$ آمپر می‌گیرند. هر بخاری برقی 2 کیلوواتی در حدود 9 آمپر جریان می‌گیرد، لیکن به ندرت اتفاق می‌افتد که بیش از دو بخاری برقی در یک لحظه زمانی در خانه‌ای روشن باشد. با توجه به این که همه پریزها در یک زمان بار حمل نمی‌کنند، برای برآورد میزان بار می‌توان برای هر پریز عمومی جریانی در حدود $0/5$ تا $0/75$ آمپر و برای هر پریز آشپزخانه 1 تا $1/5$ آمپر در نظر گرفت.

بیشتر مقررات توصیه می‌کنند که پریزها به تعداد زیات نصب شوند به طوری که هیچ نقطه‌ای از دیوارهای اتاق بیشتر از 2 تا 3 متر از نزدیکترین پریز فاصله نداشته باشد. فضاهای کوچک بین درها مشمول این قاعده نیستند. در استاندارد آمریکایی که بسیاری از چراغها سیار هستند واز پریزها تغذیه می‌شوند فاصله 2 متر رعایت می‌شود. این ترتیب نصب دستگاهها را به نحو احسن امکان پذیر می‌کند و استفاده از سیمهای رابط را غیر ضروری می‌نماید. پریزهای آشپزخانه را در ارتفاع 11 سانتیمتر در امتداد قفسه بندی و پریزهای نقاط دیگر را در ارتفاع حدود 30 سانتیمتر نصب می‌کنیم.

۲-۲-۹ - تعیین تعداد انشعابها برای تغذیه پریزها

با توجه به این که غالب بارها که از پریزها تغذیه می‌شوند کوچک هستند و به طور همزمان بارها به همه پریزها متصل نمی‌شوند به منظور کاهش هزینه سیم کشی می‌توان تعدادی از پریزها را روی یک انشعاب قرار داد. قرار دادن تا 12 پریز روی یک انشعاب $2/5$ خالی از اشکال است و در مواردی که بارهای بزرگتر مثل بخاریهای برقی مورد استفاده قرار نگیرند می‌توان تعداد بیشتری پریز را روی یک انشعاب قرار داد. با توجه به این که در آشپزخانه‌های امروزی وسائل برقی بسیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد توصیه می‌شود که حداقل یک انشعاب برای تغذیه پریزهای آشپزخانه در نظر گرفت. در استاندارد انگلیسی برای تغذیه پریزها از مدارهای حلقوی استفاده می‌شود، به این معنی که یک انشعاب $2/5$ از روی یک فیوز 16 آمپری شروع و پس از اتصال آخرین پریز به سر همان فیوز بر می‌گردد. بر اساس مقررات این گونه انشعاب می‌تواند هر تعداد پریز را که در 100 متر مربع مساحت زیر بنا قرار داشته باشد تغذیه کند.

۳-۲-۹ - کنترل بارهای کوچک خانگی

برای کنترل بارهای کوچک دو شاخه متصل به وسیله برقی برای قطع و وصل وسیله به کار گرفته می‌شود و سیستم کنترل بخصوصی به کار گرفته نمی‌شود. در مورد بارهای بزرگتر مثل بخاریهای برقی و جارو برقی خود وسایل به کلید کنترل مجهز هستند. برخی انواع پریزها هم به کلید کنترل مجهز هستند.

۴-۲-۹ - حفاظت انشعابهای پریزها

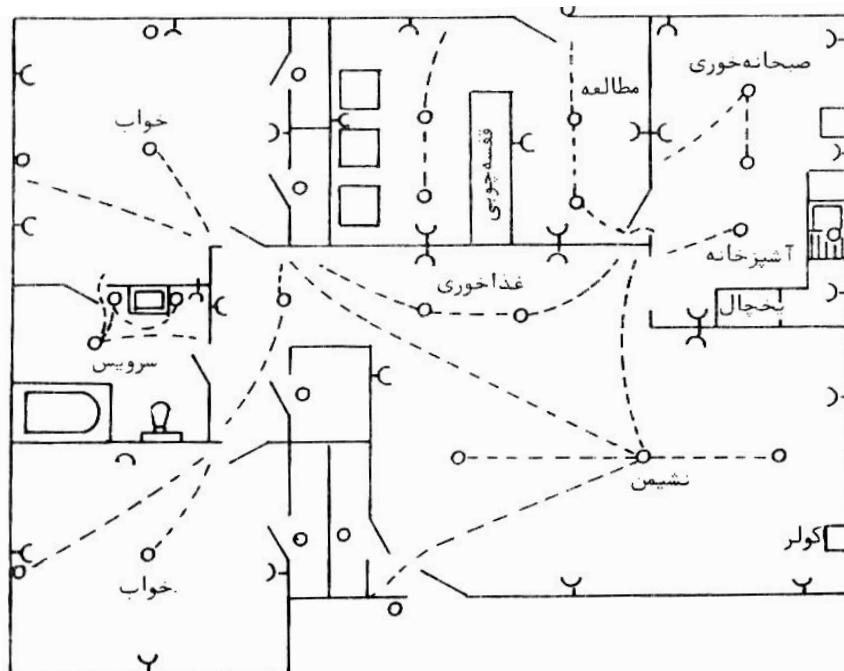
حفاظت انشعابهای پریزها نظیر حفاظت انشعابهای روشنایی به اندازه سیم انشعاب بستگی دارد و اندازه وسایل حفاظتی با استفاده از جدول ۷-۴ انتخاب می‌شوند و در تابلو فیوزها قرار می‌گیرند.

۳-۹ - بارهای بزرگ خانگی

برای تغذیه بارهای بزرگ خانگی مثل اجاق برقی، آبگرمکن برقی، ماشین لباسشویی، ماشین خشک کن، ماشین اشغال خوردکن، ماشین ظرفشویی و تهویه مطبوع از انشعابهای جداگانه استفاده می‌کنیم. اندازه انشعاب و وسیله حفاظتی بر اساس ظرفیت وسیله انتخاب می‌شود. کنترل این گونه بارها توسط کلیدها در نزدیکی وسیله قرار می‌گیرد انجام می‌شود و حفاظت توسط فیوزها یا دیژنکتورهای مینیاتوری واقع در تابلو فیوزها انجام می‌شود.

۴-۹ - نقشه برق کشی خانه های مسکونی

بر اساس ضوابط گفته شده محل چراغها و کلیدهای کنترل آنها و محل پریزها عمومی و همچنین محل بارهایی که نیاز به مدار مخصوص دارند روی نقشه (پلان) ترسیم می‌شود که نقشه برق کشی نامیده می‌شود. در بسیاری از این نقشه‌ها محل پریزهای تلفن، تلویزیون و زنگ اخبار نیز مشخص می‌گردد. شکل ۱-۹ نقشه برقی معمول یک خانه مسکونی دو اتاف خوابه را نشان میدهد. در شکل تعداد چراغها ۳۰ عدد انتخاب شده است که بیشتر آنها سقفی و بعضی دیواری هستند. در بالای درهای ورودی خانه و بالای دستشویی، سرویس و ظرفشویی آشپزخانه چراغهایی نصب شده است. کلیدهای معمولی یک پل و دو پل که چراغ را از یک نقطه کنترل می‌کنند با حرف S_1 مشخص شده‌اند.



شکل ۹ - ۱ : نقشه برقی یک خانه مسکونی دو اتاق خوابه

کلیدهای تبدیل برای کنترل روشنایی از دو نقطه بوده و با حرف S_2 مشخص شده‌اند. کلیدهای صلیبی در این نقشه فقط برای کنترل روشنایی اتاق نشیمن بوده و از سه نقطه کنترل می‌شود. این کلید با حرف S_3 مشخص شده است با فشار کلید S_3 همزمان سه لامپ در اتاق روشنایی روشن می‌شود. این لامپها با نقطه چین به هم وصل شده‌اند. در نقشه فوق هر کلید با علامت مربوط تعیین کننده نوع کلید مشخص شده است. با فشار یک کلید تبدیل همزمان دو لامپ در اتاق غذاخوری روشن می‌شود که می‌توان آن را از در خروجی آشپزخانه نیز کنترل نمود. با دقت در شکل ملاحظه می‌شود کلیدها در نزدیکی درهای ورودی و در سمت باز باز شدن آنها (طرف خلاف محل لولاهای) قرار گرفته‌اند. تعداد پریزهای عمومی ۲۴ عدد در نظر گرفته شده است و تعداد پریزهای مخصوص آشپزخانه ۶ عدد می‌باشد که در شکل با حرف K در مقابل علامت پریز مشخص شده است. بارهایی که نیاز به مدار تغذیه مخصوص دارند ماشین لباسشویی به ظرف $1/3$ اسب، ماشین فریزر به ظرفیت $1/3$ اسب، ماشین خشک کن به ظرفیت ۱ اسب و کولر به ظرفیت ۱ اسب می‌باشند که در شکل نشان داده شده‌اند.

این گونه نقشه‌ها تعداد انشعبابها، اندازه سیمهای و سایل حفاظتی را معین نمی‌کند و این مسئله مهم حتی در کارهای مهندسی که برق کشی با نقشه انجام می‌شود به عهده سیم کش گذاشته می‌شود. به منظور انجام کار به طور فنی و صحیح ارجح است که نقشه‌های کاملتری که تعداد انشعبابها، اندازه سیمهای و سایل حفاظتی را نشان می‌دهد ترسیم و در اختیار سیم کش قرار گیرد.

۵-۹- تعیین تعداد و اندازه انشعبابها

با توجه به این که سطح زیر بنا در حدود ۱۲۲ متر مربع است با روشنایی بر اساس 30 وات بر متر مربع از این قرار می‌شود.

$$122 \times 30 = 3600 \text{ Watt}$$

$$I = \frac{3600}{220} = 16.64 \text{ Amp}$$

بنابراین دو انشعباب اختیار می‌کنیم که هر یک از آنها در حدود ۱۵ چراغ را تغذیه کند. برای تغذیه پریزهای عمومی با توجه به آنها که ۲۴ عدد است ۲ انشعباب اختیار می‌کنیم که هر کدام ۱۲ پریز را تغذیه کند. برای تغذیه ۶ پریز مخصوص آشپزخانه یک انشعباب مخصوص در نظر می‌گیریم. برای تغذیه ماشین لباسشویی، خشک کن، فریزر و کولر نیز ۴ انشعباب جداگانه در نظر می‌گیریم. بنابراین تعداد کل انشعبابها ۹ عدد می‌شود.

مقاطع انشعبابها را از طریق روشهای فصل ششم محاسبه می‌کنیم. نظر به کوتاهی طول انشعبابها معمولاً افت و لتاژ کمتر از حد مجاز است و جریان مدار عامل تعیین کننده می‌باشد. نوع و اندازه سایل حفاظتی را مطابق روشهای فصل هفتم انتخاب می‌کنیم. برای انشعبابهای چراغها با توجه به جریان حدود 8 آمپر در هر انشعباب سیم $1/5$ با فیوز یا دیزنکتور مینیاتوری 10 آمپری کافی است.

برای محاسبه انشعبابهای پریزهای عمومی نظر به کوچکی بارها می‌توان $5/0$ تا $7/5$ آمپر برای هر پریز عمومی و 1 تا $1/5$ آمپر برای هر پریز آشپزخانه منظور نمود. به این ترتیب ظرفیت هر انشعباب پریزها در حدود 1500 وات می‌گردد که با استاندارد آمریکایی تطابق دارد و لذا سیم $1/5$ برای انشعبابها کافی است. لیکن با توجه به استفاده روز افزون از انرژی برقی ارجح است از سیم $2/5$ با وسیله حفاظتی 16 آمپری استفاده کنیم. به این ترتیب هر انشعباب حدود $3/5$ کیلووات ظرفیت دارد و استفاده همزمان از دو بخاری برقی روی هر انشعباب در موقع اضطراری خالی از اشکال است.

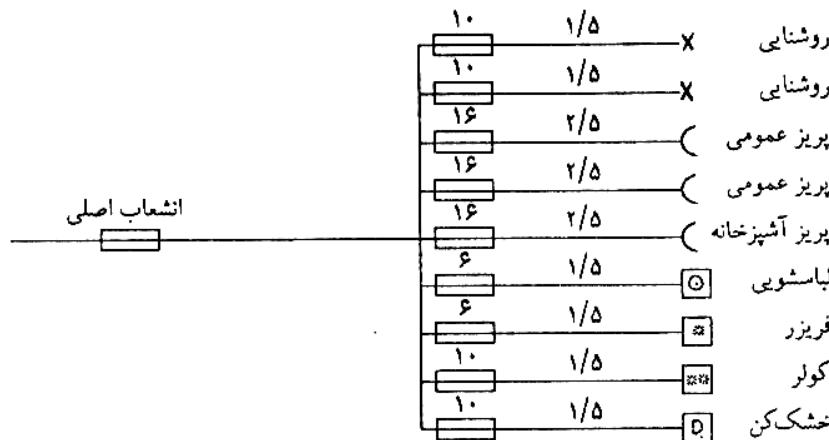
برای انشعبابهای ماشین لباسشویی به ظرفیت $1/3$ اسب و همچنین فریزر به ظرفت $1/3$ اسب با استفاده از معادله (۴-۶) با احتساب راندمان $0/6$ و ضریب قدرت $7/0$ چنین می‌نویسیم:

$$I = \frac{\left(\frac{1}{3}\right) \times 746}{220 \times 0.6 \times 0.7} = 2.69 \text{ Amp}$$

با استفاده از جداول (۱-۵) و (۲-۵) سیم ۱/۵ که دارای استحکام مکانیکی کافی می باشد انتخاب می کنیم و برای حفاظت آن بر اساس اصول فصل هفتم و شکل ۱۹-۷ فیوز ۶ آمپری تا خیری اختیار کنیم. برای انشعابهای کولر و خشک کن به ظرفیت ۱ اسب با استفاده از معادله (۴-۶) و احتساب راندمان و ضریب قدرت ۰/۷۰ چنین می نویسیم:

$$I = \frac{1 \times 746}{220 \times 0.7 \times 0.7} = 6.92 \text{ Amp}$$

با استفاده از جداول (۱-۵) و (۲-۵) سیم ۱/۵ با ظرفیت ۱۲ آمپر در حرارت ۴۵ درجه انتخاب می شود و با استفاده از اصول فصل هفتم و منحنی ۱۹-۷ فیوز تا خیری ۱۰ آمپری اختیار می کنیم. بنابراین شماتیک سیستم توزیع و انشعابهای خانه مسکونی شکل ۱-۹ به صورت زیر می باشد.



شکل ۹ - ۲: شماتیک سیستم توزیع خانه مسکونی شکل ۹ - ۱

برای محاسبه اندازه انشعاب اصلی مجموع بارها را در نظر گرفته و با توجه به این که این بارها به طور همزمان مورد بهره برداری نخواهند بود از ضریب مصرف همزمان استفاده می کنیم. در این محاسبات بار روشنایی و بارهای دیگر را بر اساس ظرفیت محاسبه شده در نظر می گیریم. بار هر پریز عمومی را ۰/۵ آمپر با ضریب قدرت متوسط ۰/۸ و بار هر پریز آشپزخانه را برابر ۱ آمپر با ضریب قدرت متوسط ۰/۰ در نظر می گیریم. به این ترتیب مجموع جریان بارها I_t از این قرار می شود.

$$I_t = 16.64 \angle 0 + 6 \times 1 \angle -0.8 + 2 \times 12 \times 0.5 \angle -0.8 + 2 \times 2.69 \angle -0.7 + 2 \times 6.92 \angle -0.7$$

$$I_t = 50.81 \angle -28.86$$

با احتساب ضریب مصرف همزمان ۰/۵ جریان انشعاب اصلی چنین می شود.

$$50.81 \times 0.5 = 25.40 \text{ Amp}$$

بنابراین کابل ۴ میلیمتر مربع و فیوز یا دیژنکتور ۳۵ آمپری انتخاب می شود.

با این که مقرراتی برای انتخاب ضریب مصرف همزمان وضع شده است انتخاب صحیح آن بستگی به تجربه مهندس محاسب دارد. در استاندارد آمریکایی برای مثال مجموع بارهای روشنایی و پریزها را بر اساس ۱۵۰۰ وات برای هر انشعاب محاسبه می کنند و برای ۳۰۰۰ وات اول ضریب ۱ و برای مابقی ضریب ۰/۳۵ در نظر می گیرند. برای بارهایی که از انشعابهای جداگانه تغذیه می شوند نیز ضریب ۱ اعمال می کنند. ضمناً جهت سهولت کار محاسبات اختلاف فازها را در نظر نمی گیرند.

۲-۹ مثال

به منظور مقایسه جریان انشعاب اصلی خانه مسکونی مورد بحث را با استفاده استاندارد آمریکایی محاسبه کنید
بارها به شرح جدول زیر می باشند.

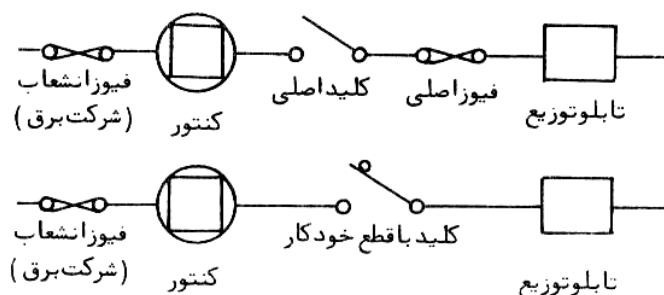
توان	ضریب مصرف همزمان	توان کل	بار
۳۰۰۰	۱	۳۶۶۰	روشنایی
۱۸۰۶	۰/۳۵	۴۵۰۰	سه مدار پریز
۴۱۴/۵	۱	۸۱۶۰	مجموع روشنایی و پریز
۴۱۴/۵	۱	۴۱۴/۵	۳۰۰۰ وات اول
۱۰۶۵/۷	۱	۴۱۴/۵	۵۱۶۰ باقیمانده
۱۰۶۵/۷	۱	۱۰۶۵/۷	لپاسشویی
۱۰۶۵/۷	۱	۱۰۶۵/۷	فریزر
۷۷۶۶			کولر
			خشک کن
			جمع

$$I_t = 7766 \div 220 = 35.3A$$

روشن است که این استاندارد محافظه کارانه است چون احتمال کار همزمان چهار ماشین کم است.

۹-۶- کنتور و تابلو توزیع

سیستم برق وردي به خانه های مسکونی مطابق شکل ۳-۹ می باشد

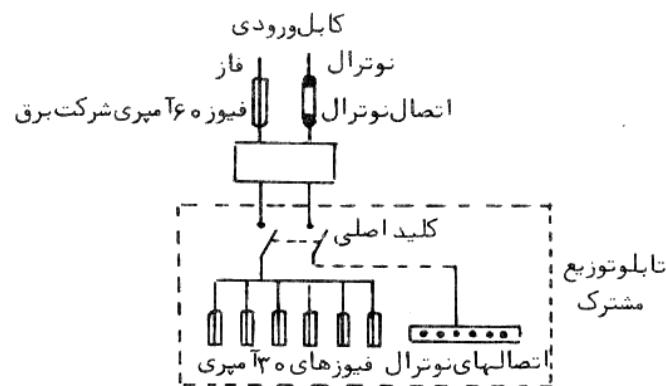


شکل ۹ - ۳ : سیستم برق ورودی به خانه

در غالب کشورها فیوز سر خط ورودی توسط شرکت برق نصب و مهر می گردد و مصرف کننده حق دست زدن به آن را ندارد. پس از این فیوز کنتور قرار دارد که میزان مصرف انرژی الکتریکی را بر حسب کیلو وات ساعت اندازه گیری می کند. در شکل (a) پس از کنتور از کلید اصلی و فیوز و در شکل (b) از دیزنکتور استفاده شده که در اختیار مصرف کننده می باشند. این کلید و فیوز با دیزنکتور برای کنترل و حفاظت سیستم خانه مورد استفاده قرار می گیرد. پس از این وسائل تابلو توزیع قرار می گیرد که از آن انشعابهای لازم از طریق فیوزها یا دیزنکتورهای محافظ گرفته می شود. نقشه دو خطی یک سیستم تک فاز در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.

به طوری که ملاحظه می کنید فیوز شرکت برق تنها روی فاز تعییه شده و سیم نوتراال از طریق تیغه ای که در هنگام تعمیر یا آزمایش به سهولت قابل باز شدن است متصل می باشد. تابلو توزیع نشان داده شده در شکل ۶ راهه است، به این معنی که ۶ انشعاب از آن خارج می شود. دقت کنید که در تابلو توزیع هم فیوزها تنها روی سیمهای فاز قرار دارند و نوتراال مدار بدون فیوز از طریق تیغه نوتراال به سیم نوتراال متصل می باشند.

این تابلوهای توزیع برای سیستمهای تک فاز یا سه فاز با فیوزها یا دیزنکتورهای محافظ در شکلهای مختلف به صورت ۶، ۹ یا ۱۲ راهه می شوند. تابلوهای توزیع امروزی از نظر اندازه کوچک و از نظر شکل و رنگ زیبا هستند و به زیبایی ساختمان لطمه نمی زند.



شکل ۹ - ۴: سیستم برق تک فاز ورودی به خانه

خانه های کوچک معمولا از برق تک فاز تغذیه می شوند و کنتورهای تک فاز در اندازه های استاندارد، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ آمپر ساخته می شوند. خانه های بزرگتر که مصرف بیشتر دارند از برق سه فاز استفاده می کنند. کنتورهای سه فاز در اندازه های استاندارد ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۴۰، ۶۰ آمپر ساخته می شوند.

نظر به این که بارهای بزرگتر برقی در خانه های مسکونی در آشپزخانه و زیر زمین متتمرکز هستند کابل ورودی را در نزدیکی این مراکز به خانه وارد می کنیم و کنتور و متعلقات آن و تابلو توزیع نیز در چنین محلی نصب می شود به طوری که خواندن کنتور توسط مامور اداره برق و دسترسی به تابلو توزیع به سهولت میسر باشد.

فصل دهم

طرح سیستم برق مراکز صنعتی

سیستم برق مراکز صنعتی به منظور تغذیه مصرف کننده‌هایی 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 نظریه تجزیه الکتریکی و آبکاری از برق مستقیم استفاده به عمل می‌آید. برق متناوب غالباً در فرکانس ۵۰ سیکل بر ثانیه مورد استفاده قرار می‌گیرد لیکن در بعضی کاربردها نظریه کوره‌های القابی از فرکانس بالاتر تا حدود ۸۰۰ 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 معمولاً دور از مراکز مصرف هستند ساخته می‌شوند 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 می‌شود:

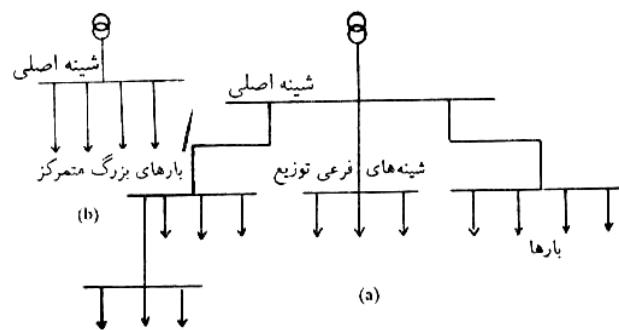
- الف- نیاز به انرژی اضطراری برای بارهای مهم
 - ب- نیاز به بخار آب برای احتیاجات حرارتی یا صنعتی.
 - پ- لزوم استفاده از گازهای سوختنی تولیدی در کارخانه
- به طور کلی چه مواردی که از برق شبکه استفاده می‌شود و چه در مواردی که از نیروگاه اختصاصی استفاده به عمل می‌آید شبکه توزیع کارخانه باید طوری طرح ریزی 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 وسائل می‌گردد. در بارهای نوع دوم قطع برق موجب توقف خط تولید و وضعیت شدن وقت کارگران می‌شود. بارهای کم اهمیت تر دیگر را بارهای نوع سوم می‌گوییم. 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 می‌شوند) 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 دستگاه‌ها 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 انشعابهای و کنترل و حفاظت انشعابهای را مورد توجه قرار می دهیم.

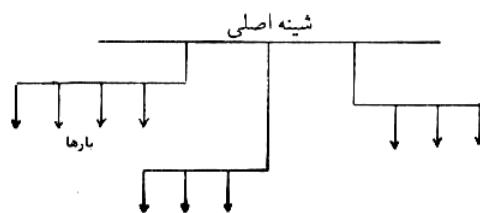
۱۰-۱-سیستم های توزیع برق در مراکز صنعتی

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 ۱-۱۰ نشان داده شده است خطوط عمولاً 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 متتمرکز 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 ۱-۱۰: سیستم توزیع شعاعی

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



شکل ۲-۱۰: 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.

۲-۱۰- 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 از $\frac{2}{5}$ درصد مقدار اسمی و در مورد موتورها از ± 5 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 ضربی 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.

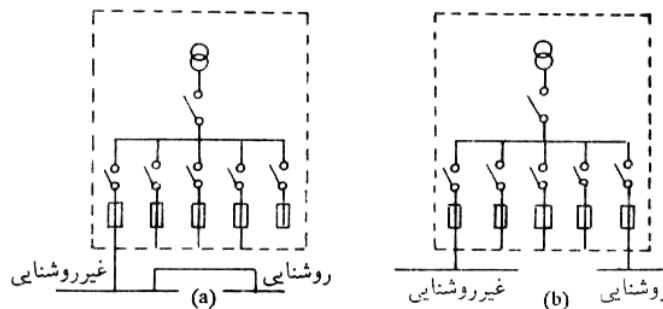
با این فرکانس در نیروگاهها به طور اتوماتیک کنترل می شود تغییرات ناگهانی بار موجب نوساناتی در فرکانس می شود. غالباً مقررات تغییرات فرکانس را در حدود ± 1 درصد و یا ± 0.5 سیکل بر ثانیه در فرکانس استاندارد ۵۰ مجاز می دانند. زیاد شدن فرکانس سبب کاهش فلوی مغناطیسی در موتورها و افزایش سرعت آنها می شود. کم شدن فرکانس موجب افزایش فلوی مغناطیسی و ازدیاد تلفات حرارتی می گردد.

۳-۱۰- بارهای روشنایی مراکز صنعتی

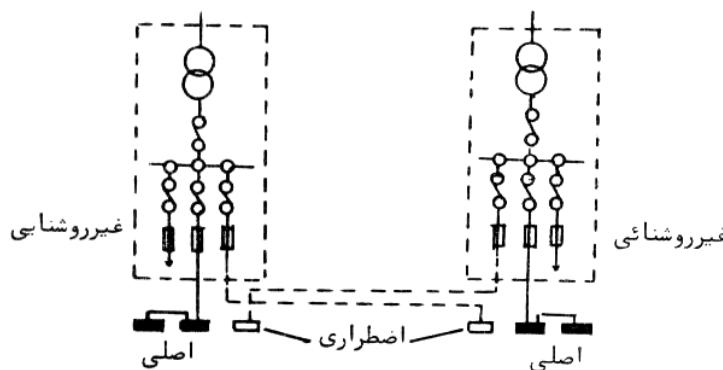
در مراکز صنعتی دو نوع بار روشنایی دیده می شود. یکی بار روشنایی اصلی که هدف آن تأمین روشنایی لازم برای انجام کارها و عملیات است، دیگری بار روشنایی اضطراری که در صورت قطع روشنایی اصلی مورد استفاده قرار میگیرد و هدف آن تأمین روشنایی به طور موقت برای ادامه کارهای ضروری و یا تخلیه کارکنان از ساختمان هاست. 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 کارگران 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 موقع 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. در شکل 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 در حالات 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 ۴-۱۰ 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 .



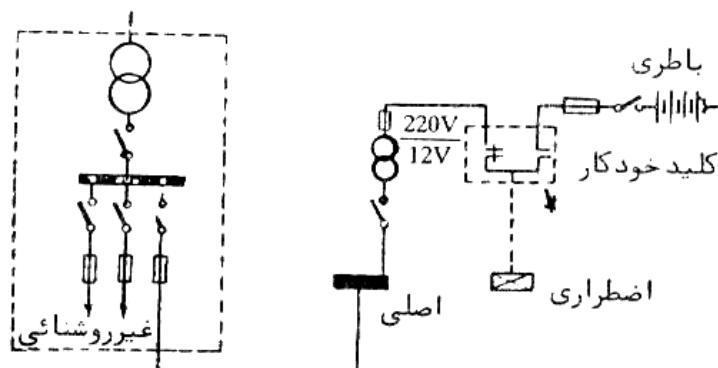
شکل ۱۰ - ۳: دو روش تغذیه مدارهای روشنایی



شکل ۱۰ - 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 اضطراری 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 باتریها تغذیه می کند .



شکل ۱۰ - 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 ۱۰۰۰ لوکس متغیر است . ارقام کوچک برای کار غیر ظریف روى 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 ۱-۱۰

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

$$۲۰ \times ۱۰ = ۲۰۰$$

$$۲۰۰ \times ۱۲۰۰ = ۲۴۰,۰۰۰$$

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

$$۲۴۰,۰۰۰ \div ۲۰ = ۱۲۰۰ \quad W = ۱۲ \text{ KW}$$

۱۰-۳-۲- تعیین تعداد انشعبابهای روشنایی

هر انشعباب 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 انشعباب 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 تقاطع 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 ۲-۱۰

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

$$۱۲۰۰۰ \div ۲۲۰ = ۵۴۵ \text{ Amp}$$

$$۵۴/۵ \div ۱۶ \approx ۴$$

تعداد انشعبابها

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

۱۰-۳-۳- کنترل انشعبابهای 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 انشعباب قرار داده نمی شود . در این موارد جهت کنترل چراغها از کلیدهایی که در تابلوی توزیع انشعبابها قرار می دهیم استفاده می کنیم و هر کلید یک انشعباب 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 انشعباب قرار داده نمی شود در این موارد جهت کنترل چراغها از کلیدهایی که در تابلوی توزیع انشعبابها قرار می دهیم استفاده می کنیم و هر کلید یک انشعباب را قطع یا وصل می کند در

مواردی که تغذیه چراغهای قسمتهای مختلف از طریق یک انشعاب ضروری باشد کلید کنترل هر قسمت را نزدیک درب ورودی آن قسمت قرار می‌دهیم کلیدها بسته به مداری که کنترل می‌کنند یک قطبی یا سه قطبی انتخاب می‌شوند.

۴-۳-۱۰- حفاظت انشعابهای روشنایی

برای حفاظت مدارهای روشنایی مراکز صنعتی از فیوزها یا دیزنکتورهای مینیاتوری استفاده می‌کنیم و آنها را در تابلو توزیع انشعابها قرار می‌دهیم. 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 می‌کنیم.

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

بارهای برقی صنعتی از چند گروه تشکیل می‌شوند:

دسته اول موتورهای برقی که کمپرسورهای، پنکه‌ها و تلمبه‌ها را می‌گردانند می‌باشند. در این موارد به علت قیمت نسبتاً ارزان و نیازهای تعمراتی کم و تغییرات سرعت کم با تغییرات بار، غالباً موتورهای القایی سه فاز انتخاب می‌شوند که با برق ۵۰ سیکل و ولتاژی از ۳۸۰ ولت در موتورهای کوچک تا ۱۱ کیلو ولت در موتورهای بزرگ کار می‌کنند ضریب قدرت این موتورهای در حدود ۰/۸۵ است به ندرت برای ضریب قدرت بهتر از موتورهای سنکرون که گرانتر هستند استفاده به عمل می‌آید.

دسته دوم موتورهایی است که وسایل بالابرند (جراثقال) و تسممه‌های نقاله را به حرکت در می‌آورند در سالیان گذشته در این موارد از موتورهای جریان مستقیم که کنترل سرعت آنها به سهولت ممکن است استفاده به عمل می‌آمد لیکن امروزه با پیدایش روش‌های مناسبی برای کنترل سرعت موتورهای القایی این موتورهای رفتہ رفته جانشین موتورهای جریان مستقیم گردیده اند.

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

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

۴-۱- تعیین میزان بار صنعتی

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

برای مثال تلمبه‌ای را در نظر بگیرید که باید Q متر مکعب از مایعی به وزن مخصوص ۷ کیلوگرم بر متر مکعب را در هر ثانیه به ارتفاع h متر تلمبه کند توان مکانیکی لازم از این قرار است:

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

$$= 9.81 \gamma Q h \quad \text{Nm/sec}$$

$$\frac{\gamma O h}{101.94} \quad \text{KW}$$

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

$$p = \frac{\gamma O h}{101.94 \eta} \quad (1-10)$$

مثال ۳-۱۰

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 0.9 فرض و ظرفیت موتور را محاسبه کنید .

$$p = \frac{870 \times 1 \times 50}{101.94 \times 0.9} = 474.15 \text{ kW} \quad (1-10)$$

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

$$p_{eq} = \sqrt{\frac{p_1 t_1 + p_2 t_2}{t_1 + t_2}} \quad (2-10)$$

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 ۴-۱۰

یک موتور القایی انتخاب کنید که بار متغیری را در سرعت ۷۳۰ دور در دقیقه بگرداند میزان کوپل به مدت ۱۰ ثانیه برابر ۴۱ کیلوگرم متر (41×9.81 نیوتن متر) و برای ۳۰ ثانیه بعدی $28.16/16$ کیلوگرم و در ۴۶ ثانیه آخر 8 کیلوگرم متر است و این سیکل مرتبأ تکرار میشود .

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

حال باید دید که آیا این موتور با کوپل اسمی $22/5$ کیلوگرم متر قادر به ایجاد کوپل 41 کیلوگرم متر می باشد در بسیاری موتورهای القایی نسبت کوپل حداکثر قابل تولید به کوپل اسمی برابر $1/7$ است بنابراین کوپل اسمی چنین است :

$$T_r = \frac{41}{17} = 24.12$$

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 همچنان تکرار می شود . در این صورت توان معادل برای کار غیر مداوم را مطابق رابطه زیر معین می کنیم .

$$p_{eq} = \sqrt{\frac{p_1 t_1 + p_2 t_2}{t_1 + t_{c1} + t_2 + t_{c2}}} \quad (3-10)$$

$$p_{eq} = \sqrt{\frac{p_1 t_1 + p_2 t_2}{t_1 + t_2}} \cdot \sqrt{\frac{t_1 + t_2}{t_1 + t_{c1} + t_2 + t_{c2}}} \quad \text{و یا}$$

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

$$P_{eq,id} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{t_1 + t_2}} \quad (4-10)$$

$$\epsilon = \frac{t_1 + t_2}{t_1 + t_{c1} + t_2 + t_{c2}} \quad (5-10)$$

رابطه بالا چنین می شود

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

ظرفیت موتورهای برای کار غیر مداوم بر حسب $p_{eq,id}$ معین می شود و این مقادیر در تابلو مشخصات موتورهای درج می شود این گونه موتورها را برای مقادیر استاندارد ϵ 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 $1/25$ برابر اسمی موتور اختیار می کنند

مثال ۵-۱۰

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

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

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

بنابراین موتوری با توان اسمی ۱۹ کیلو وات و نسبت برقراری بار $1/4$ انتخاب می کنیم که بار معادل مداوم آن به شرح زیر می شود .

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

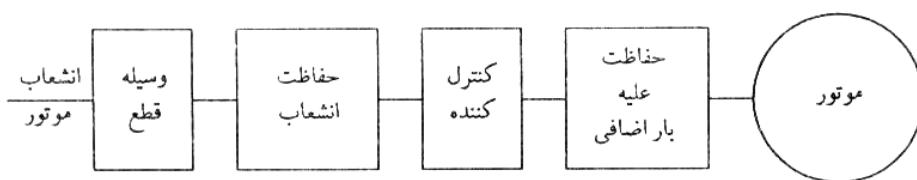
میزان بارهای دیگر مثل کوره های حرارتی را براساس میزان حرارت مورد نیاز محاسبه می کنیم.

۴-۲-۴-۱۰- 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.

۴-۳-۴-۱۰- کنترل انشعابهای موتورهای

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



شکل ۶-۱۰ : 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 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 سیمهای 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 سیمهای را که برای انجام عمل لازم است قطع یا وصل کند.

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

۴-۴-۱۰- حفاظت انشعابهای موتورها

به طوری که در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده است وسایل حفاظت مدار انشعابهای موتورها شامل دو وسیله است؛ یکی وسیله حفاظت انشعاب که کارش حفاظت سیمهای کنترولر و موتور علیه جریانهای اتصال کوتاه است، دیگری حفاظت علیه بار اضافی که کار حفاظت موتور کنترولر وسیله قطع سیمهای 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 برای آن 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 ۱۰-۱: اندازه وسایل حفاظتی انشعاب موتورها

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

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 می‌گردند. 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 کلیدها با قطع خودکار استفاده می‌شود که در صورت افزایش جریان از حد معین مدار را سریعاً 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 می‌کنند مثلاً معمولاً برای موتورهای از راه اندازهایی استفاده می‌شود 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 اهرمehای مکانیکی سبب وصل یا قطع مدار می‌گردد. 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.

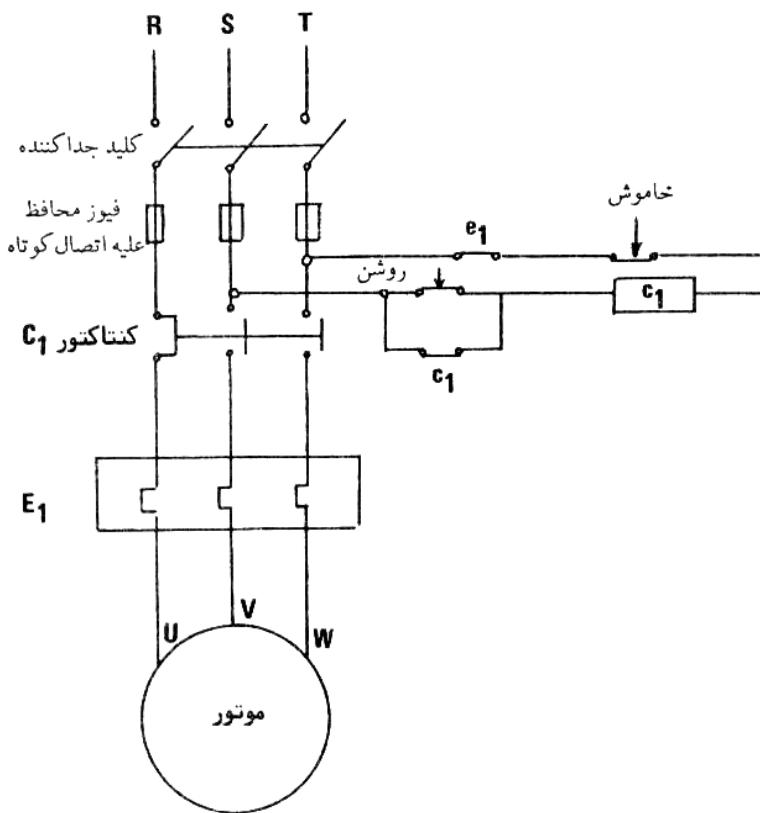
۱۰-۵- مدارهای فرمان موتورها

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 معمولاً 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 دقیقاً نشان داده می‌شود. در ذیل برخی از مدارهای معمول را بررسی می‌نماییم و نقشه‌های لازم را ترسیم می‌کنیم.

۱۰-۶- مدار فرمان راه اندازی موتور القایی سه فاز از یک یا چند محل

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

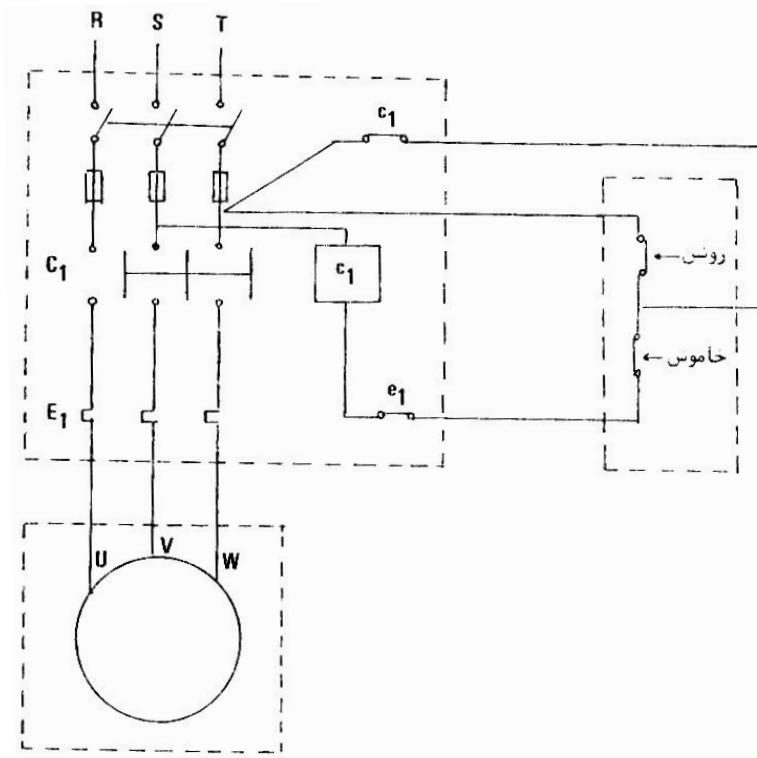




ملحوظه می کنید که مدار سه فاز از طریق کلید جدا کننده، فیوز محافظ علیه اتصال کوتاه کنتاکتور C_1 و رله حرارتی حفاظت علیه بار اضافی E_1 موتور را تغذیه می کند که مدار اصلی تغذیه محاسب می شود و با خط ضخیم ترسیم شده است و بقیه مدار که با خط نازک کشیده شده است مربوط به کنترل می باشد. در این شکل مدار کنترل از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

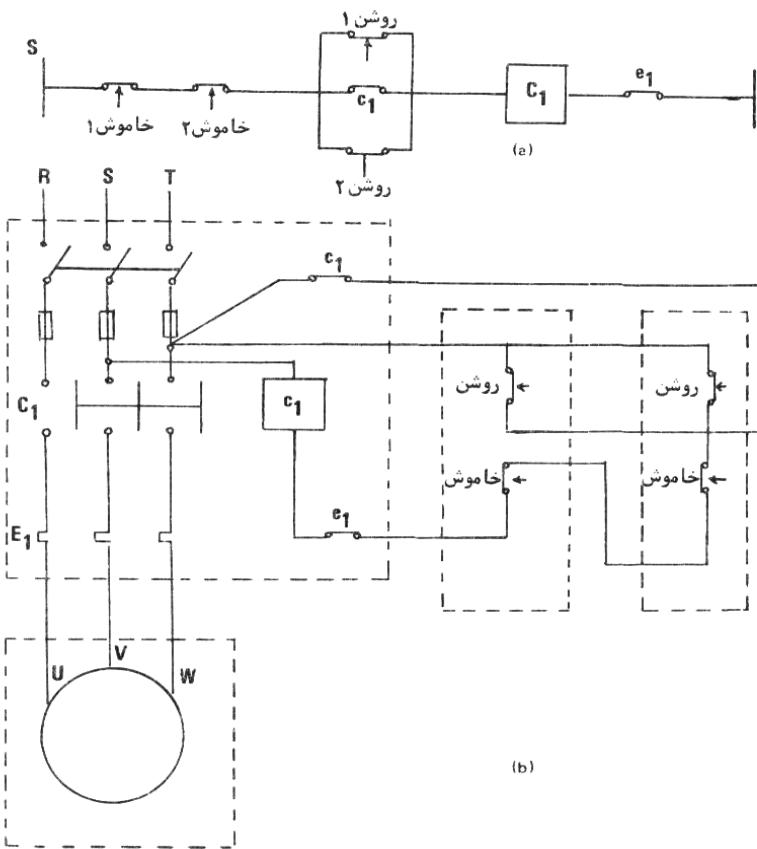
برای راه اندازی موتور دکمه روشن یا شروع (استارت) را فشار می دهیم و به این ترتیب سیم پیچ کنتاکتور C_1 تحریک می شود و کنتاکتور C_1 بسته می شود و موتور شروع به گردش می کند. پس از برداشتن انگشت از دکمه استارت این کلید باز می شود ولی مدار از طریق کنکات فرعی یا نگهدارنده C_1 که با بسته شدن کنتاکتور بسته شده است برقرار می ماند. در صورتی که در حین کار موتور جریان اضافی بکشد رله حرارتی E_1 عمل می کند و کنکات e_1 را باز می نماید که سبب قطع تحریک C_1 می شود و کنتاکتور باز می شود و موتور می ایستد.

همچنین در حین کار در صورت لزوم با فشار بر دکمه خاموش یا توقف (استاپ) تحریک C_1 را قطع و موتور را متوقف می کنیم. در صورت قطع برق C_1 باز می شود و پس از بازگشت برق کنکاتور خود به خود بسته نمی شود و موتور به طور غیرمنتظره شروع به کار نمی کند که مانع وقوع بسیاری خطرات می گردد. در شکل ۷-۱۰ ملاحظه می کنید که کنکاتور C_1 دارای سه کنکات اصلی است که مدار موتور را وصل یا قطع می کند و یک کنکات فرعی دارد که در مدار کنترل است. مطابق قرارداد در نقشه های برقی همه کنکاتها را در حالتی که کنکاتور بدون کنکات بسته اند کنکات های «معمول باز» و به کنکات هایی که در زمان بدون تحریک بودن کنکاتور باز هستند کنکات های «معمول باز» گفته می شود. نقشه سیم کشی مربوط در شکل ۸-۱۰ نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می کنید نقشه دارای سه قسمت مجاز است که در داخل سه مستطیل نقطه چین نشان داده شده اند. این سه قسمت می توانند در مکانهای مختلف قرار داشته باشند و لازم است سیم کشی لازم بین آنها انجام شود. بین تابلو و موتور یک کایل سه رشته ای کشیده می شود که جریان موتور را حمل می کند. 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 می تواند تا موتور فاصله قابل ملاحظه داشته باشد و ایستگاه روشن و خاموش کردن در محل موتور قرار دارد.



شکل ۱۰-۸: نقشه سیم کشی کنترل موتور القایی سه فاز از یک محل

در صورتی که کنترل موتور از دو محل مثلاً 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 ۹-۱۰ (a) و نقشه سیم کشی مربوط مطابق شکل (۹-۱۰(b)) می‌باشد.

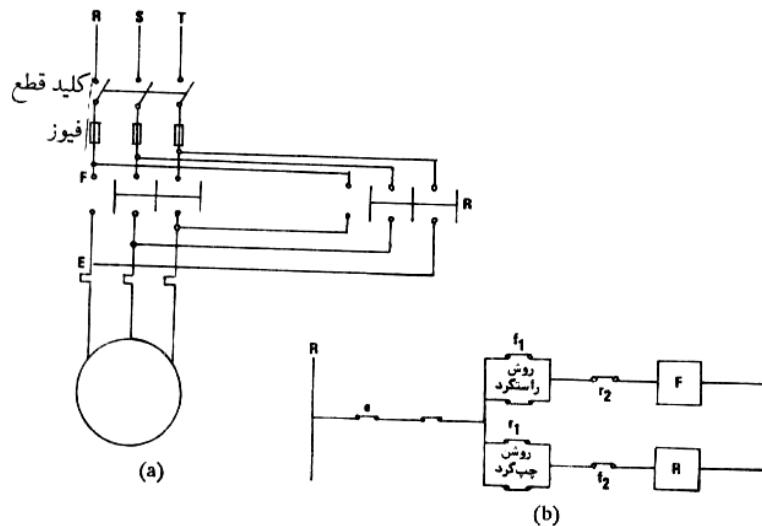


شکل ۱۰-۹: کنترل موتور القایی سه فاز، (a) شماتیک، (b) سیم کشی کامل

مالحظه 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.

۲-۵-۲۰- 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 - ۱۰ : شماتیک مدار راهاندازی موتور دو جهت گرد،
(a) مدار قدرت، (b) مدار کنترل

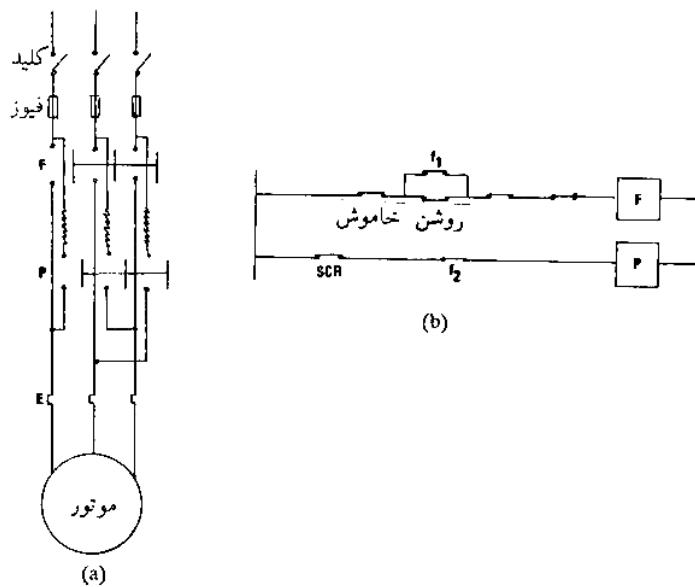
در صورتی که کنتاکتور F بسته و R باز باشد موتور به راست و در حالت مخالف به علت جابجا شدن دو عدد از فازها موتور در جهت عکس می‌گردد. در شکل ۱۰-۱۰(b) شماتیک مدار کنترل را ملاحظه می‌کنید که در آن با فشار بر هر یک از دو دکمه استارت موتور در یک جهت می‌چرخد، و در صورتی که موتور در جهتی در گردش است تنها پس از 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 می‌کنیم که می‌تواند از فرکانس رتور یا ولتاژ القایی آن فرمان بگیرد و تنها در صورتی که سرعت موتور به مقدار کم و اینمی کاهش یافته است تحریک کنتاکتور معکوس ممکن باشد.

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

در بعضی کاربردها لازم است موتور برقی پس از کمدمتی کار به طور سریع متوقف شود. در موتورهای القایی با رتور قفسی این کار با استفاده از دو کنتاکتور مطابق شکل ۱۱-۱۰ 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 می‌شود. 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 جایه جا می‌کند که موجب معکوس شدن کوپل تولیدی و در نتیجه کاهش سرعت موتور می‌شود. هدف از مقاومتها محدود کردن جریان است. پس از این که سرعت به

نژدیک صفر کاهش یافت رله سرعت SCR باز می شود و موجب قطع مدار موتور می گردد و موتور می ایستد. رله سرعت معمولاً روی رتور موتور قرار می گیرد و بر اساس گریز از مرکز عمل می کند و در شکل نشان داده نشده است.



شکل ۱۰ - ۱۱ : شماتیک مدار توقف سریع موتور القایی سه فاز با رتور قفسی

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

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

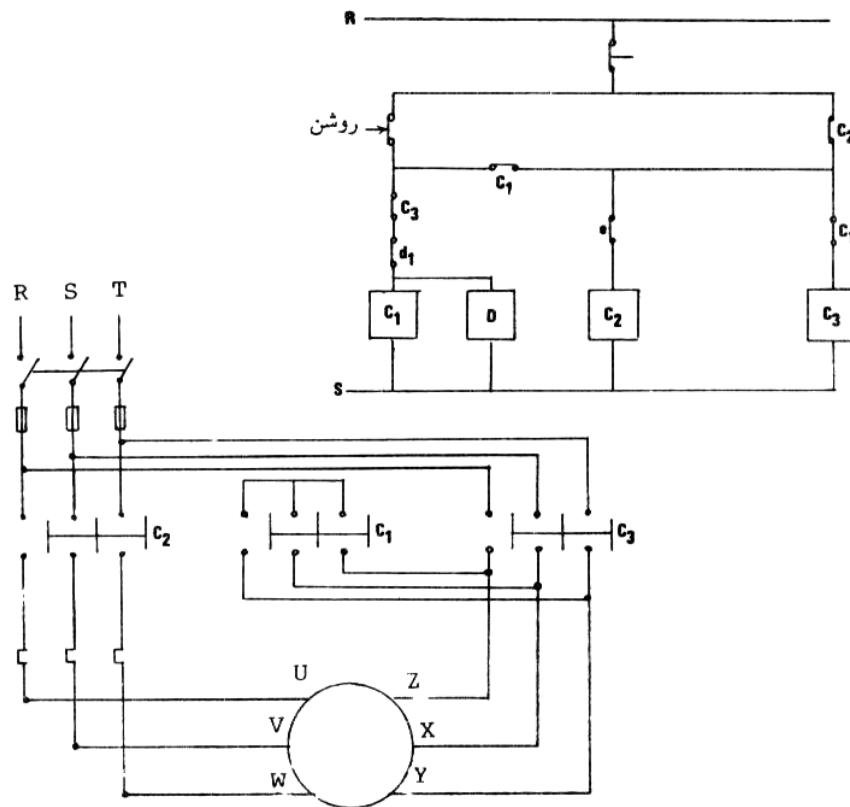
برای شروع کار دکمه روشن را فشار می دهیم. چون کنتاکتور C_3 باز است کنتاکت C_3 بسته است و کنتاکت d_1 هم که توسط رله زمانی D باز و بسته می شود در ابتدا بسته است (کنتاکت معمولباً بسته) و لذا C_1 تحریک و بسته می شود. در همین زمان کنتاکتور C_2 نیز بسته می شود و به صورت ستاره شروع به کار می کند. در همین زمان رله زمانی D نیز شروع به کار می کند که پس از مدت زمان معینی d_1 را باز می کند که موجب باز شدن کنتاکتور C_1 و رله زمانی D می شود. در نتیجه کنتاکت C_1 بسته می شود که کنتاکتور C_3 را می بندد و موتور به صورت مثلث به کار خود ادامه می دهد. فشار بر دکمه خاموش در هر لحظه زمانی دلخواه سبب توقف موتور می گردد.

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

در مotorهای القایی با رتور سیم پیچی به منظور کاهش دادن جریان راه اندازی در لحظه شروع مقاومتی در مدار رتور قرار می دهیم که با کاهش جریان پله از مدار خارج می شود. در شکل ۱۰-۱۲ مدار فرمان با مقاومت رتور سه پله ای نشان داده شده است.

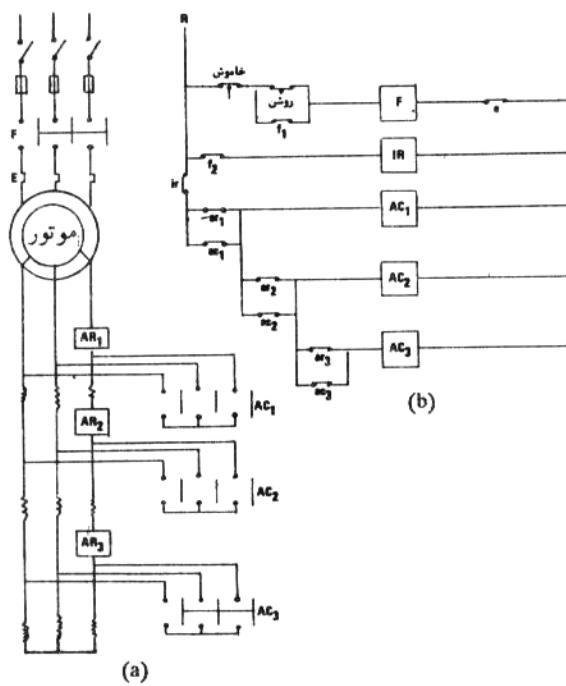
با فشار بر دکمه روشن کنتاکتور F بسته و موتور شروع به کار می کند و کنتاکت F_1 مدار را متصل نگاه می دارد. جریان زیاد رتور باعث تحریک و بستن سه رله AR_1 , AR_2 و AR_3 که در جریانهای مختلف عمل می کنند می شود. با بسته شدن F_2 رله IR با قدری تاخیر زمانی بسته می شود که موجب بستن ir می گردد. پس از مدتی جریان رتور کاهش کافی پیدا می کند به طوری که تحریک AR_1 کافی نیست و ar_1 بسته می ود و کنتاکتور AC_1 عمل می کند که قسمتی از مقاومت رتور را از مدار خارج می کند. پس از مدتی جریان رتور کمتر می شود و تحریک AR_2 کافی نیست و با بسته شدن ar_2 کنتاکتور AC_2 بسته می شود 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 می‌شود و کنتاکتور AR3 بسته می‌شود که همه مقاومت رتور را از مدار خارج می‌کند.



شکل ۱۰ - ۱۲: شماتیک مدار فرمان راه اندازی ستاره - 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 - ۱۳: شماتیک مدار فرمان راه اندازی موتور القایی سه‌فاز با مقاومت رتور

فصل یازدهم

زمین کردن حفاظتی

زمین از موادی تشکیل یافته که غالباً الکتریسته هستند به خصوص در حالاتی که مرتضوب باشند. بنابراین اگر شخصی که روی زمین قرار دارد با جسمی که نسبت به زمین دارای پتانسیل است تماس حاصل نماید به علت برقرار شدن جریان دچار برق گرفتگی می‌شود.

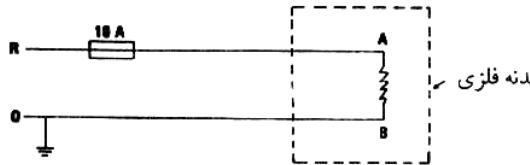
در ابتدای پیدایش صنعت برق نقطه نوترال (خنثی) آلترناتور ترانسفورماتورها را به زمین متصل نمی‌کردند. برای شبکه‌های کوچک آن دوران که دارای طول کم و ولتاژ پایین بودند نیازی به زمین کردن نوترال احساس نمی‌شد. این شبکه‌ها به شبکه‌های «نوترال مجزا» یا «غیر متصل به زمین» یا «زمین نشده» معروف بودند. البته حتی این شبکه‌ها هم از طریق خازن‌های کوچ بین فازها و زمین با زمین اتصال الکتریکی با امپدانس زیاد داشتند. این شبکه‌ها نسبت به شبکه‌های زمین شده امروزی دارای چند امتیاز بودند. یکی از این که اتصال اتفاقی یک فاز به زمین موجب برقراری جریان قابل ملاحظه و سبب قطع جریان برق و خاموشی نمی‌شد. دیگر این که در صورت تماس بدن شخص که روی زمین قرار داشت با یکی از فازها به علت برقرار نشدن جریان خطرناک، شخص دچار برق گرفتگی نمی‌گردد.

با توسعه شبکه‌ها و افزایش ولتاژ آنها جریانها در حالت اتصال یک فاز به زمین قابل ملاحظه گردید که متنابداً خود به خود قطع و وصل می‌شد و در محل اتصالی جرقه‌ای ایجاد می‌نمود. که به پدیده «زمین جرقه زن» معروف گردید. این پدیده سبب افزایش ولتاژ فازهای سالم نسبت به زمین و موجب اختلالات شبکه می‌گردید که به وسائل متصل خدمات و خساراتی وارد می‌آورد.

اتصال نوترال شبکه به زمین مانع این افزایش ولتاژها می‌گردد زیرا در صورت اتصال اتفاقی یک فاز به زمین جریان زیادی در مدار برقرار می‌شود که سبب قطع مدار توسط رله‌های حفاظتی می‌گردد. یک عیب مهم سیستمهای زمین شده این است که اگر شخصی روی زمین قرار داشته باشد در صورت تماس با یکی از فازها دچار برق گرفتگی می‌شود که جلوگیری از آن با عایق بندی مناسب سیمهای گرم به سهولت ممکن است. این عیب با فایده بزرگی همراه است و آن این است که همه بدن‌های فلزی دستگاه‌های برقی را می‌توان به زمین متصل نمود. به این ترتیب هیچ گاه پتانسیلی بین بدن فلزی دستگاهها و زمین برقرار نمی‌شود که سبب برق گرفتگی گردد. در صورت اتصال یک فاز به بدن جریان زیادی از طریق زمینی در مدار برقرار می‌شود که سبب قطع برق توسط رله‌های حفاظتی و رفع خطر می‌شود. اتصال بدن فلزی دستگاه‌های برقی که در حالات عادی جریان برقی حمل نمی‌کنند به زمین را «زمین کردن حفاظتی» می‌نامیم که موضوع بحث این فصل کتاب می‌باشد. در قسمتهای بعدی این فصل به تشریح اصول و نحوه زمین کردن حفاظتی و مقررات مربوط به آن می‌پردازیم.

۱-۱۱- اصول زمین کردن حفاظتی

هدف از زمین کردن حفاظتی جلوگیری از برقرار شدن ولتاژهای زیاد و خطرناک روی بدن فلزی وسایل و تجهیزات برقی نسبت به زمین است. برای پی بردن به خطرات بالقوه دستگاههای زمین نشده یک وسیله برقی زمین نشده را مطابق شکل ۱-۱۱ در نظر بگیرید.



شکل ۱۱-۱: وسیله برقی تکفاز با بدن زمین نشده

نوتراال شبکه در پست توزیع به زمین متصل شده و دارای مقاومت محدودی مثلاً ۲ اهم نسبت به زمین است. در صورتی که نقطه A وسیله برقی با بدن اتصالی پیدا کند ولتاژ ۲۲۰ ولت نسبت به زمین روی بدن برقی شود که بسیار خطرناک است. دقت کنید این گونه اتصالی موجب قطع فیوز نمی‌گردد و کسی از وقوع آن مطلع نمی‌شود. در صورتی که شخصی که روی زمین ایستاده با بدن وسیله که پیوسته بدون خطر فرض می‌شود تماس حاصل کند دچار برق گرفتگی شدید خواهد شد. حال ببینیم اتصال بدن به زمین چگونه خطر برق گرفتگی را دفع می‌کند. فرض کنید بدن فلزی وسیله برقی به زمین متصل باشد و مقاومت اتصال آن نیز ۲ اهم باشد. حال به محض اتصال نقطه A به بدن یک مدار برقی کامل از طریق فاز R، نقطه اتصالی A، بدن فلزی، اتصال به زمین بدن فلزی و اتصال به زمین نوتراال که دارای مقاومت کل ۴ اهم است تشکیل می‌شود که جریانی برابر $220 \div 4 = 55$ آمپر حمل می‌کند که سریعاً موجب قطع فیوز ۱۰ آمپری مدار و قطع ولتاژ خطرناک از بدن وسیله می‌شود.

حالا وضعیت دیگری را در نظر بگیرید. فرض کنید مقاومتهای اتصال به زمین نوتراال و بدن هر کدام به جای ۲ اهم برابر ۱۰ اهم باشند. در این حالت مقاومت کل مدار اتصال ۲۰ اهم خواهد بود که جریانی برابر $220 \div 20 = 11$ آمپر می‌کشد که البته قادر به قطع کردن فیوز ۱۰ آمپری نخواهد بود. در این حالت بدن وسیله برقی در ولتاژ ۲۲۰ ولت باقی می‌ماند و می‌تواند موجب برق گرفتگی و هلاکت افراد شود. بنابراین دقت کنید که کار حفاظت از طریق ایجاد مسیری با امپدانس کم برای جریان انجام می‌شود به طوری که جریان زیادی برقرار شود و سبب عمل کردن رله‌ها یا فیوزهای حفاظتی که حفاظت علیه با اضافی را عهده داری هستند گردد.

از بحث بالا روشن است تنها در حالاتی که امپدانس کل مداری که در صورت اتصالی برقرار می‌شود از حد متعارفی کمتر باشد وسایل حفاظتی علیه بار اضافی نظیر فیوز یا رله می‌توانند موجب قطع مدار و رفع خطر گردند. در حالاتی که مقاومت کل مدار شامل مقاومت اتصالهای زمین، مقاومت محل اتصالی و غیره از حد متعارف بیشتر باشد وسایل حفاظت علیه بار اضافی قادر به قطع برق و رفع خطر نخواهند بود و لازم است از وسایل دیگر مانند رله جریان نشستی به زمین استفاده به عمل آید. این دو طریق حفاظت در دو قسمت بعدی فصل تشریح می‌شوند.

۲-۱۱- حفاظت علیه بار اضافی

اتکاء به وسایل حفاظت علیه بار اضافی برای تامین اینمی در موارد اتصالی زمین تنها مواردی مجاز است که جریانی که در مدار برقرار می‌شود حداقل سه برابر ظرفیت اسمی فیوز محافظ مدار یا بیشتر $1/5$ برابر ظرفیت اسمی کلید خودکار محافظ مدار باشد تا از قطع کردن به موقع آن اطمینان حاصل شود. بنابراین در مورد مدارهای تک فاز که با فیوز و کلید اتوماتیک محافظت می‌شوند حداقل امپدانس مجاز مدار اتصالی زمین به ترتیب از این قرارند:

$$Z = \frac{220}{3I} \quad (1-11)$$

$$Z = \frac{220}{1.5I_{ch}} \quad (2-11)$$

در معادلات بالا I_f و I_{cb} به ترتیب ظرفیت اسمی فیوز و کلید خودکار محافظه است.

مثال ۲-۱۱

حداکثر امپدانس مجاز مدار اتصالی زمین را برای مدار تک فازی که با فیوز ۱۰ آمپری و همچنین برای مدار تک فازی که با کلید خودکار ۱۰ آمپری محافظه شود حساب کنید. برای مداری که با فیوز محافظه شود با استفاده از (۱-۱۱)

$$Z = \frac{220}{3 \times 10} = 7.33 \Omega$$

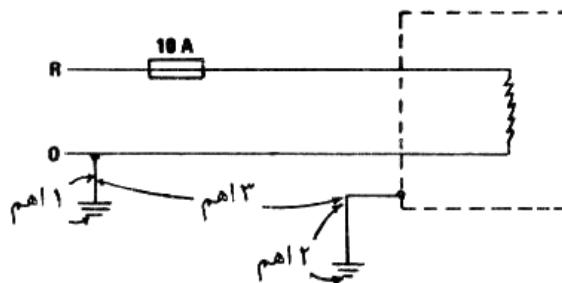
برای مداری که با کلید خودکار محافظه شود با استفاده از (۲-۱۱)

$$Z = \frac{220}{1.5 \times 10} = 14.66 \Omega$$

در حالاتی که امپدانس مدار اتصال زمین از حداکثر مقدار مجاز متجاوز گردد وسیله محافظه علیه بار اضافی به احتمالی زیاد قادر به قطع مدار و رفع خطر نخواهد بود و در این صورت بدنه فلزی دستگاه در ولتاژی نسبت به زمین باقی می‌ماند. اگر این ولتاژ بیش از ۴۰ ولت باشد خطرناک است و در این گونه موارد باید برای محافظه از رله‌های جریان نشتنی به زمین استفاده کرد.

مثال ۲-۱۲

در مدار اتصال زمین یک بخاری برقی تک فاز ۲ کیلووات ۲۲۰ ولت مطابق شکل ۲-۱۱ مقاومت بین الکترود زمین پست و ترمینال زمین خانه ۳ اهم است (الکترود زمین خانه ۲ اهم و الکترود زمین پست ۱ اهم) مقاومت اتصالی و سیمها قابل صرف نظر است. در صورت بروز اتصال آیا محافظه کافی توسط فیوز محافظه ۱۰ آمپری مدار تامین می‌شود؟



شکل ۲-۱۲: مدار بخاری مثال ۲-۱۱

برای تامین محافظه کافی، مقاومت کل مدار اتصالی باید از مقدار زیر متجاوز گردد.

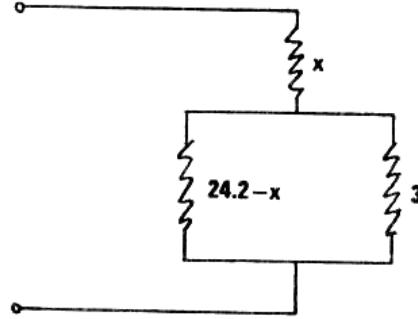
$$Z = \frac{220}{3 \times 10} = 7.33 \Omega$$

مقاومت بخاری برابر است با

$$R = \frac{(220)^2}{2000} = 24.2 \Omega$$

بسته به محل اتصالی ممکن است مقاومت کل مدار اتصالی از ۷/۳۳ اهم متجاوز گردد. فرض کنید اتصالی در محلی که تا انتهایی که به فاز متصل است مقاومت X اهم دارد اتفاق بیفت. مدار معادل چنین می‌شود:

$$x + \frac{(24.2 - x)(3)}{(24.2 - x) + 3} = 7.33 \Rightarrow x = 4.73$$



شکل ۱۱ - ۳: مدار معادل اتصالی مثال ۱۱ - ۲

بنابراین روشن است که اگر اتصالی تا محل ۴/۷۳ اهم از انتهایی که به فاز متصل است اتفاق بیفتند می‌توان اطمینان داشت که فیوز قطع و خطر رفع می‌گردد. در صورتی که محل اتصالی پایینتر از این نقطه باشد احتمالاً فیوز عمل نمی‌کند و موجب رفع خطر نمی‌گردد. ولتاژ بدن نسبت به زمین در این حالت حداقل مقدار خود را خواهد داشت. ولتاژ بدن نسبت به زمین پست برابر است با

$$\frac{220}{220 - \frac{7.33}{4.73}} = 78.04$$

ولتاژ بدن نسبت به زمین $\frac{2}{3}$ مقدار بالاست

$$78.04 \times \frac{2}{3} = 52$$

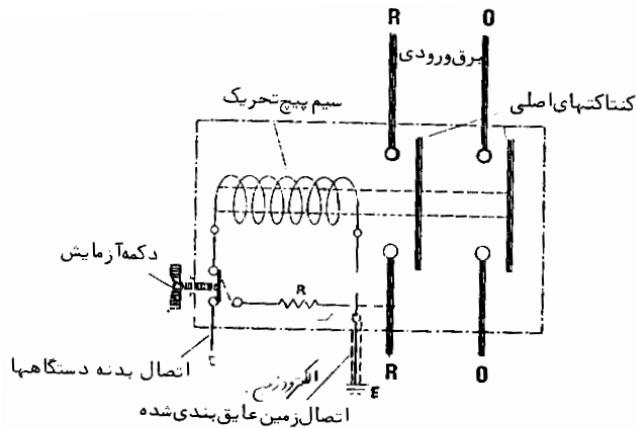
که ولتاژی خطرناک است. لذا حفاظت با فیوز محافظ مدار علیه بار اضافی کافی نیست.

۱۱-۳- حفاظت با استفاده از رله جریان نشستی به زمین

در بسیاری موارد به علت سیمهای زمین معیوب یا قطع شده و با افزایش مقاومت بین الکترود و زمین به علت خشک شدن زمین اطراف الکترود مقاومت مدار اتصالی بیش از حد مجاز می‌شود و در این صورت لازم است از رله‌های جریان نشستی به زمین و کلیدهای خودکار برای قطع برق و رفع استفاده کنیم. دو نوع کلید خودکار معمول یکی بر اساس ولتاژ بدن دستگاهها نسبت به زمین و دیگری بر اساس جریان نشستی به زمین عمل می‌کنند.

۱۱-۳-۱- کلید قطع خودکار با استفاده از ولتاژ

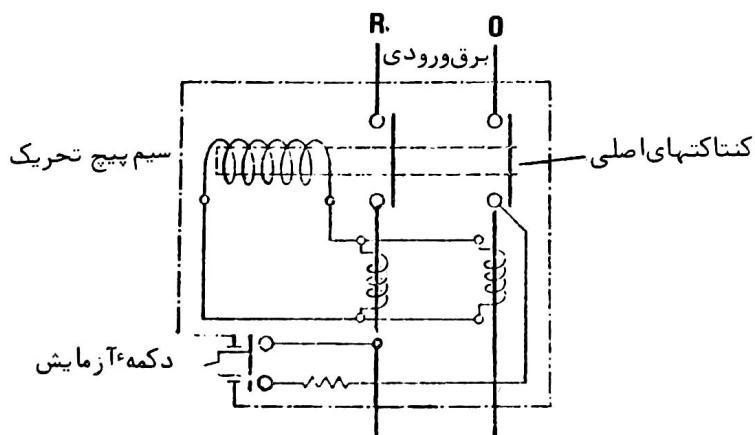
این روش محافظت در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است. این کلید خودکار به صورت یک کن tactور روی برق ورودی قرار می‌گیرد. سیم پیچ کن tactور بین سیم زمین که بدن همه وسایل برقی را به هم متصل نموده و الکترود زمین ساختمان متصل است. سیمی که الکترود زمین را به سیم پیچ متصل می‌کند عایق بندی شده است به طوری که مانع نشت جریان به مسیرهای دیگر شود. کن tactور را طوری طرح ریزی می‌کنیم که در صورتی که ولتاژی در حدود ۴۰ ولت بین سیم زمین و الکترود برقرار شود جریان کافی در مدار سیم پیچ جاری شود و سبب باز شدن کن tactور گردد. برای کسب اطمینان از درست کار کردن کلید آن را به مداری برای آزمایش مجهز می‌کنیم و هر چند وقت یک بار آن را مورد آزمایش قرار می‌دهیم. با فشار بر دکمه آزمایش ولتاژی برابر ۴۰ ولت به سیم پیچ اعمال می‌شود که باید موجب قطع کن tactور گردد. با برداشتن انگشت از دکمه مدار به حالت کار بر می‌گردد.



شکل ۱۱-۴: کلید قطع خودکار با استفاده از ولتاژ

۲-۳-۱۱-۴- کلید قطع خودکار با استفاده از جریان نشتی به زمین

این روش مطابق شکل ۱۱-۵ است.



شکل ۱۱-۵: کلید قطع خودکار با استفاده از جریان نشتی به زمین

به طوری که ملاحظه می‌کنید در این روش دو سیم پیچ ثانویه روی فاز و نوترال پیچیده شده و به طور موازی متصل شده‌اند. در حالات عادی که سیستم اتصالی ندارد و جریانی به زمین نشست نمی‌کند جریانهای فاز و نوترال برابرند. مجموع جریان ثانویه القایی صفر می‌شود و هیچ گونه جریانی از مدار سیم پیچ کنکاتور نمی‌گذرد. در صورت بروز اتصالی قسمتی از جریان فاز از طریق اتصال زمین بر می‌گردد و جریان نوترال کمتر از جریان فاز می‌شود که موجب برقراری جریانی در مدار سیم پیچ و باعث تحریک آن و باز شدن کنکاتور می‌شود. برای کسب اطمینانی از درست بودن کلید خودکار آن را به مدار آزمایش مجهز می‌کنیم. با فشار بر دکمه آزمایش جریان مناسب در مدار سیم پیچ برقرار می‌شود که باید موجب قطع کنکاتور گردد. با برداشتن انگشت از دکمه آزمایش مدار به حالت کار بر می‌گردد.

۴-۱۱- الکترود زمین

الکترود زمین عبارت از یک قطعه جسم هادی است که در زمین قرار داده می‌شود و سیم زمین به آن متصل می‌شود.

الکترودها به اشکال مختلف ساخته می‌شوند که اهم آنها از این قرار است:

- الف- میله‌های موسی معمولاً به قطر ۱۶ میلیمتر که با چکش در زمین کوبیدن می‌شوند. این میله‌ها دارای نوک تیز فولادی هستند که فرو رفتن در زمین را آسان می‌کنند. پس از کوبیدن یک میله می‌توان میله دیگری به آن پیچ کرد و کوبیدن را ادامه داد تا میله‌ای با طول مورد نظر تا حدود ۳ متر به دست آید.

- ب- صفحه‌های مسی که در عمق ۶۰ سانتیمتر یا بیشتر به صورت افقی خوابانده می‌شود. به این ترتیب زمین بسیار مناسبی عاید می‌شود لیکن اجرای این روش با زحمت بیشتری همراه است.
- پ- استفاده از لوله‌های آب شهری در گذشته بسیار معمول بوده است ولی امروزه که بیشتر از لوله‌های پلاستیکی استفاده به عمل می‌آید این روش قابل استفاده نیست.
- ت- غلاف یا زره فلزی کابل‌های زیر زمینی امروزه بیشتر و بیشتر به عنوان الکترود زمین و سیم زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. غلاف و زره کابل در پست به نوتروال متصل هستند. در این سیستمها در صورت اتصالی جریان از غلاف یا زره عبور می‌کند و به زمین نفوذ نمی‌کند.
- ث- سیم زمین در سیستمها توزیع هوایی گاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش در توزیع هوایی علاوه بر سیمهای سه فاز و نوتروال سیم پنجمی کشیده می‌شود که در پست به نوتروال متصل می‌گردد و در طی مسیر نیز در نقاطی به زمین متصل می‌شود و در نقاط مصرف به عنوان الکترود زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ج- زمین کردن نوتروال در نقاط متعدد در مکانهایی که مقاومت ویژه زمین زیاد است و یا در فضول مختلف به علت تغییرات میزان رطوبت تغییرات فاحش دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش که در ایران نیز معمول است در سیستمها توزیع سیم نوتروال را در طی مسیر در فواصل معین (سه تیر در میان) به الکترودی در زمین متصل می‌کنند. در این روش در صورت بروز اتصالی جریان دارای دو مسیر یکی از طریق سیمی نوتروال و دیگری از طریق زمین دارد که مقاومت را کاهش می‌دهد.
- ج- در بسیاری موارد برای کاهش دادن مقاومت زمین از میله‌ها استفاده می‌کنند و با اتصال الکتریکی آنها به یکدیگر آنها را به صورت الکترود واحد مورد استفاده قرار می‌دهند.

۱۱-۵- مقاومت ویژه زمین

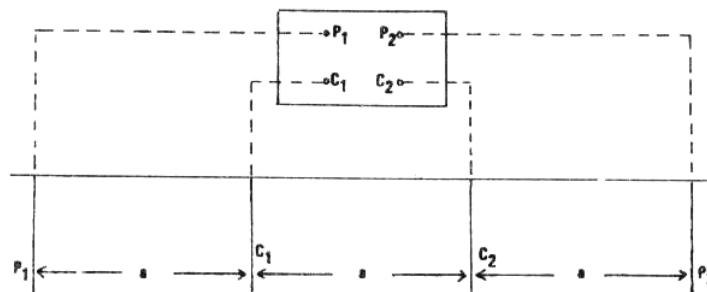
مقاومت بین الکترود و زمین بستگی به مقاومت ویژه زمین دارد که خود بسته به جنس زمین و میزان رطوبت آن تغییر می‌کند. خاکهای سطحی به علت داشتن رطوبت کمتر دارای مقاومت ویژه بالاتر هستند. برای کاهش مقاومت الکترود در این موارد از الکترودهای بلندتر استفاده می‌کنیم و یا با اضافه کردن املاح هادی در اطراف الکترود ویژه زمین را کاهش می‌دهیم. مقاومت ویژه انواع معمول زمین به صورت جدول زیر است.

جدول ۱۱-۱: مقاومت ویژه انواع معمول زمین

نوع زمین	مقاومت ویژه (اهمتر)
خاک با غچه	۵ - ۵۰
گل	۱۰ - ۱۰۰
گل شن زار	۱۰۰ - ۲۰۰
شترار	۲۵۰ - ۵۰۰
صخره	۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰

برای اندازه گیری مقاومت ویژه زمین می‌توان از دستگاه مخصوصی به نام مگر (megger) چهار ترمینالی با ضمایم مربوط شامل چهار الکترود و کابل‌های اتصال استفاده کرد (مگر که شرحش در فصل بعد خواهد آمد اساساً یک مولد دستی است که با گرداندن دسته آن تولید برق می‌کند و می‌تواند با استفاده از ولتاژ تولید شده مقاومت بین دو نقطه را اندازه گیری کند). چهار الکترود میله‌ای را مطابق شکل ۱۱-۶ به فاصله‌های بیشتر از ۱۰ برابر طول میله از یکدیگر می‌کوییم (a>200) میله‌ها را می‌توان تا

حداکثر یک متر در زمین فرو برد لیکن طول لوله در زمین نباید از $1/20$ فاصله بین الکترودهای مجاور تجاوز کند. تحت این شرایط به طوری که در قسمت بعد خواهیم دید مقاومت هر الکترود زمین تقریباً $\frac{100\rho}{2\pi a}$ اهم می‌شود



شکل ۱۱ - ۶: اندازه‌گیری مقاومت ویژه زمین به وسیله مگر چهار ترمینالی

اگر مقاومت خوانده شده توسط مگر R اهم باشد مقاومت ویژه زمین از فرمول زیر به دست می‌آید.

$$\frac{2\pi a R}{100}$$

با استفاده از a معین می‌توان دستگاه را طوری کالیبره کرد که مستقیماً مقاومت ویژه را نشان دهد.

۱۱-۶- محاسبه مقاومت الکترودها

برای محاسبه مقاومت بین الکترود و زمین می‌توان به منظور سهولت زمین را بی نهایت بزرگ فرض کرد. بسته به شکل الکترودها محاسبه مقاومت برخی از آنها آسان و بعضی دیگر مشکل است.

۱۱-۶-۱- محاسبه مقاومت الکترود نیم کره

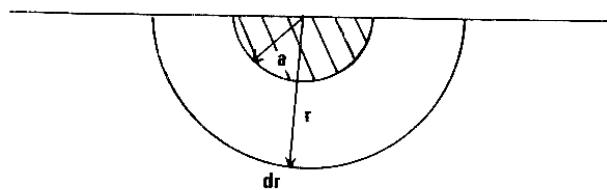
یک الکترود که حل ریاضی آن آسان است الکترود نیم کره است که مطابق شکل ۱۱-۷ در زمین قرار گیرد. شعاع نیم کره a متر است و مقاومت یک المان نشان داده شده زمین چنین است.

$$dR = \frac{pd\pi r}{2\pi p^2}$$

برای محاسبه مقاومت کل رابطه بالا بین a و انتگرال می‌گیریم.

$$R = \int_a^\infty \frac{pd\pi r}{2\pi p^2}$$

$$R = \frac{P}{2\pi a} \quad (۱۱)$$



شکل ۱۱ - ۷: الکترود نیم کره در زمین

دقیق نماید که بیشتر مقاومت در نزدیک الکترود که چگالی جریان زیاد می‌باشد متمرکز است به طوری که اگر به عوض فاصله بی نهایت، مقاومت را تا فاصله $10a$ محاسبه کنید 90 درصد مقاومت کل حاصل می‌شود.

مثال ۳-۱۱

الکترود نیم کره‌ای به شعاع ۲۰ سانتیمتر در زمین گلی با مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم متر کار گذاشته شده است. مقاومت الکترود چقدر است؟ مقاومت بین الکترود و نقطه‌ای از زمین به فاصله ۴ متر از الکترود چقدر است؟ با استفاده از (۲-۱۱)

$$R = \frac{100}{2\pi \times 0.2} = 80\Omega$$

مقاومت بین الکترود و نقطه‌ای از زمین در فاصله ۴ متری برابر است با

$$R = \frac{100}{2\pi} \left[\frac{1}{0.20} - \frac{1}{4} \right] = 76\Omega$$

۲-۶-۱۱- محاسبه مقاومت الکترود میله‌ای

محاسبه مقاومت الکترود میله‌ای مانند الکترود نیم کره به آسانی میسر نیست برای محاسبه از فرمول تقریبی که با تجربه نیز وقق می‌دهد استفاده می‌کنیم. مقاومت میله‌ای به شعاع r متر که ۱ متر در زمین با مقاومت ویژه P فرو رفته شده است برابر است با:

$$R = 2.05 \left(\log \frac{2r}{l} \right) \left(\frac{P}{2\pi l} \right) \quad (4-11)$$

مثال ۴-۱۱

مقاومت یک میله ۱۶ میلیمتری که به طول $1/5$ متر در زمین با غجه فرو برد شده است را حساب کنید.

$$\frac{l}{r} = \frac{1500}{16} = 93.7$$

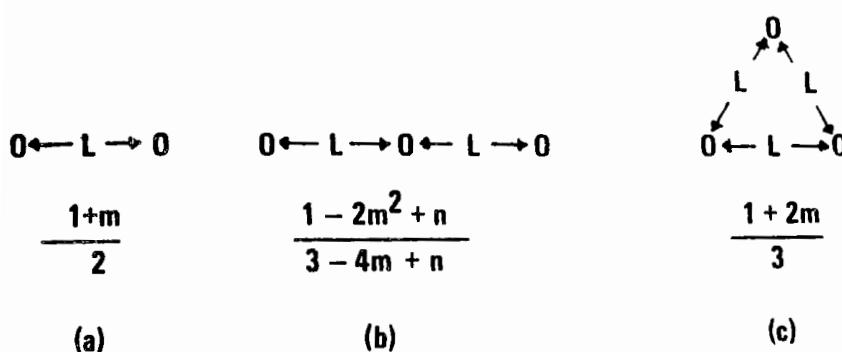
با فرض مقاومت ویژه ۲۰ اهم متر، مقاومت برابر می‌شود با

$$R = 2.05 \left[\log \left(2 \times 93.7 \right) \right] \cdot \left(\frac{20}{2\pi \times 1.5} \right)$$

$$R = 8.5 \Omega$$

۳-۶-۱۱- محاسبه مقاومت مجموعه الکترودهای میله‌ای

برای کاهش دادن مقاومت الکترودها می‌توان از مجموعه‌هایی از میله‌هایی به طور ۱ متر در زمین استفاده نمود. سه مجموعه معمول دو و سه الکترودی به شکل زیر هستند. مقاومت هر یک از این مجموعه‌ها ضریبی از مقاومت یک میله است. این ضرایب نیز در شکل نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۸: مجموعه الکترودها دو و سه تایی

m و n در ضرایب بالا به شرح زیر هستند.

$$m = \frac{Lnz}{Ln\frac{r}{r}} \quad x = \frac{1+L}{L} \quad (5-11)$$

$$n = \frac{Lny}{Ln\frac{r}{r}} \quad y = \frac{1+2L}{2L} \quad (6-11)$$

ملاحظه می‌کنید در حالتی که فاصله بین میله‌های مجموعه خیلی بیشتر از طول آنها باشد ضریب کاهش مقاومت برابر عکس تعداد میله‌های مجموعه می‌شود که حداقل کاهش ممکنه است. در فاصله‌های کمتر به علت استفاده اشتراکی میله‌ها از یک حوزه زمین ضریب کاهش مقاومت مجموعه کوچکتر است.

مثال ۵-۱۱

سه میله ۱۶ میلیمتر ۱/۵ متری ($L=1.5, r=16\text{mm}$) را مطابق شکل ۸-۱۱ (c) به فاصله یک متر ($L=1\text{m}$) از یکدیگر در زمین با مقاومت ویژه ۲۰ اهم متر می‌کوییم. مقاومت آن چقدر است؟

$$X = \frac{1.5 + 1}{1} = 2.5$$

$$\frac{1}{r} = \frac{1500}{16} = 93.7$$

$$m = \frac{Ln 2.5}{Ln 93.7} = 0.202$$

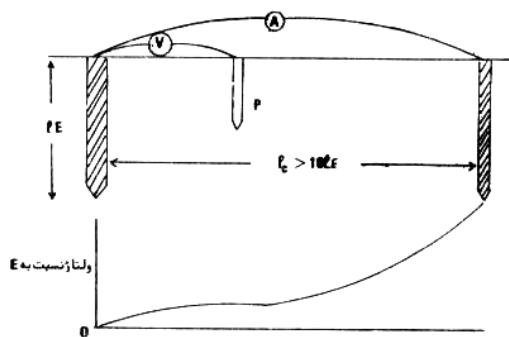
$$\frac{1 + 2m}{3} = \frac{1 + 2 \times 0.202}{3} = 0.47$$

با استفاده از نتیجه مثال ۴-۱۱

$$R = 8.5 \times 0.47 = 4\Omega$$

۷-۱۱- اندازه گیری مقاومت الکترود زمین

مقاومت یک الکترود و یا یک مجموعه الکترود زمین را پس از نصب می‌توان به سهولت اندازه گیری کرد. برای این کار مطابق شکل ۹-۱۱ عمل می‌کنیم.



شکل ۱۱-۹: اندازه گیری مقاومت الکترود زمین

در این شکل E الکترودی است که مقاومتش اندازه گیری می‌شود. در فاصله‌ای بیشتر از ده برابر طول الکترود E الکترود کمکی C را در زمین می‌کوییم. با اتصال یک منبع تغذیه متناوب به این دو جریانی در زمین برقرار می‌کنیم که با آمپر متر A اندازه گیری

می شود. حالا با جایجا کردن الکترود P می توان ولتاژ بین نقطه P و الکترود E را اندازه گیری کرد. تجربه نشان می دهد که این ولتاژ با فاصله تغییراتی نظیر منحنی نشان داده شده در زیر شکل دارد که در وسط دو الکترود تغییرات زیادی ندارد. به این دلیل معمولاً الکترود P را در وسط دو الکترود دیگر قرار می دهند و ولتاژ را اندازه گیری می کنند. حال مقاومت الکترود E به زمین از تقسیم ولتاژ بر جریان به دست می آید. برای مجموعه الکترودها فاصله I_C را بزرگتر از ۲۰۱ انتخاب می کنیم تا مسیر جریان در زمین برای هر الکترود مستقل باشد.

۱۱-۸- نحوه صحیح اتصال بدن و سایل به زمین

بدنه فلزی همه وسایل برقی باید به سیم زمین متصل باشد و سیم زمین هم به ترمینال الکترود زمین متصل می شود که خود به الکترود متصل است. بدن فلزی بسیاری از وسایل خود در مجاورت زمین قرار دارند لیکن هیچگاه نمی توان به این اتصال ناقص اکتفا کرد و اتصال الکتریکی آنها ضرورت دارد. سیم زمین ممکن است یک سیم لخت مسی، یک رشته سیم مخصوص در داخل کابل، لوله های فولادی سیم کشی یا جا کابل های فلزی، غلاف یا زره فلزی کابلها یا ترکیبی از اینها باشد. در موقعی که از سیم مخصوص استفاده می شود اندازه آن نباید از نصف اندازه بزرگترین سیمی که برای حمل جریان به کار گرفته شده است کمتر باشد. بیشتر مقررات امروزه لازم میدانند که تجهیزات فلزی غیر برقی نظیر لوله های آب و گاز، رادیاتورهای فلزی، تیرهای آهنی ساختمان اگر در دسترس باشند به هم و به سیم زمین متصل گردند. این کار از برقرار شدن ولتاژ های خطرناک بین اجسام فلزی جلوگیری می کند و به این منی کمک می نماید.



فصل دوازدهم

بازسازی و آزمایش تأسیسات سیم کشی

پس از تکمیل سیم کشی چه در اماکن مسکونی و تجاری و چه در مراکز صنعتی نباید فوراً به وصل برق مبادرت کرد . اتصال برق تنها پس از انجام آزمایشها یی که مؤید انجام صحیح سیم کشی باشد مجاز می باشد. این آزمایشها ابتدا توسط سیم کش انجام می شود و سپس باید توسط مأموران شرکت برق منطقه ای قبل از اتصال سیستم به شبکه توزيع انجام گردد. همچنین چون سیستمهای سیم کشی با گذشت زمان رفته کهنه و فرسوده می شوند، بسیاری از مقررات توصیه می کنند که این آزمایشها به طور مرتب حداکثر هر پنج سال یک بار تکرار شود. در ایران در حال حاضر انجام این آزمایشها الزامی نیست و مأموران برق هم در وقت اتصال برق به بازدید ظاهری جعبه کنتور اکتفا می کنند. در این فصل با وسایل آزمایش و آزمایشها لازم که اینمی سیستم های سیم کشی را تضمین می کنند آشنا می شویم.

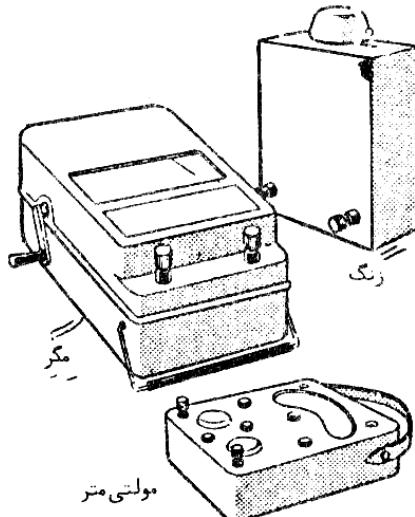
۱-۱۲- وسایل آزمایش

سه وسیله آزمایش امروزه معمول است. اول مولتی متر یا آومتر است که ولتاژ، جریان و مقاومت را اندازه گیری می کند. جریان لازم برای اندازه گیری مقاومت از یک قوه داخل مولتی متر گرفته می شود . چون ولتاژ قوه در اثر استفاده قدری کاهش می یابد این وسایل به یک مقاومت تنظیم مجهز هستند. اتصال دو سیم مولتی متر در حالت اندازه گیری مقاومت به یکدیگر باید مقاومت صفر نشان دهد. بنابراین قبل از هر اندازه گیری مقاومت، با استفاده از مقاومت تنظیم، صفر وسیله را تنظیم می کنیم. وسیله دیگر که بسیار مورد استفاده قرار می گیرد زنگ اخبار است که از چند قوه تغذیه می شود. با استفاده از دو سیم بلند می توان اتصال هر قسمت مدار را امتحان کرد. به این صورت که سر دو سیم را به دو انتهای قسمت مورد آزمایش مدار وصل می کنیم و صدای زنگ سالم بودن اتصال مدار را نشان می دهد.

وسیله سوم که بسیار با اهمیت است به نام تجاری مگر معروف است که یک مولد دستی است و برای ولتاژهای ۵۰۰ یا ۱۰۰۰ ولت ساخته می شود. در ساختمان آنها از یک کلاچ لغزنده استفاده می شود به طوری که پس از اینکه سرعت گردن دسته به مقدار معینی رسید ولتاژ به حداکثر مقدار اسمی خود می رسد و افزایش سرعت سبب افزایش بیشتر ولتاژ نمی شود. امروزه وسایل مشابه ترانزیستوری که با قوه کار می کنند و با استفاده از تقویت کننده ها ولتاژ مستقیم بالا تولید می کنند ساخته شده و مورد استفاده می باشند. مگرها به یک کلید دو وضعیتی مجهز هستند که در یک وضعیت متصل بودن مدار و در وضعیت دیگر مقاومت عایقی آن را آزمایش می کنند. شکل ظاهری این سه دستگاه در شکل ۱-۱۲ نشان داده شده است. یک وسیله آزمایش دیگر که در سیستم ها پس از وصل برق بسیار مورد استفاده قرار می گیرد به فازمتر معروف است که سیم گرم را مشخص می کند. در این وسیله از یک لامپ نئون استفاده به عمل می آید که جریان بسیار کمی از طریق بدن آزمایش کننده و زمین می کشد. روشن شدن

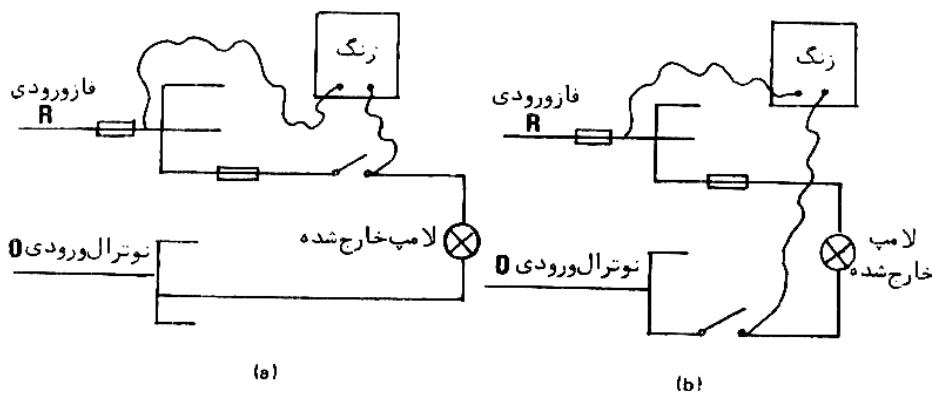
لامپ نئون گرم بدون سیم مورد آزمایش را نشان می‌دهد. استفاده از این وسیله باید با احتیاط کافی انجام شود. چون بدن آزمایش کننده جزئی از مدار است. در صورت معیوب بودن فازمتر این روش می‌تواند خطرات جانی به همراه داشته باشد. همچنین در مواردی که سیم نوتراول نسبت به زمین دارای ولتاژ کمی است تماس فازمتر با سیم نوتراول هم باعث روشن شدن لامپ نئون و به اشتباہ انداختن آزمایش کننده می‌شود.

۱-۱۲- آزمایش اتصال صحیح کلیدها و فیوزها و پریزها



شکل ۱-۱۲: شکل ظاهری سه وسیله آزمایش

به طوری که قبل‌آگفته شده است فیوزهای محافظ و کلیدهای کنترل مدارها باید روی سیم فاز نصب شوند. در غیر این صورت سوختن فیوز یا قطع کلید، برق را از وسایل متصل به مدار قطع نمی‌کند که ممکن است در حین تعمیر یا تعویض وسیله موجب خطراتی گردد. در اتصال پریزها هم فاز به سوراخ سمت راست و نوتراول به سوراخ سمت چپ متصل می‌شود و در پریزهای سه سوراخی زمین شده سیم زمین به سوراخ بالا متصل می‌گردد. رعایت نکردن این مسئله به خصوص در مورد پریزهای مجهز به کلید موجب خطرات جانی گردیده است. برای کسب اطمینان از اتصال صحیح این اجزاء قبل از اتصال برق می‌توان مطابق شکل ۲-۱۲ مدار را با زنگ اخبار مورد آزمایش قرار داد.



شکل ۲-۱۲: آزمایش اتصال صحیح کلیدها

یکی از سیم‌های زنگ اخبار را به فاز ورودی در جعبه کنتور (فاز مربوط در سیستم سه فاز) متصل می‌کنیم و با اتصال سر دیگر به فیوزها، کلیدها و سوراخ سمت راست پریزها آنها را مورد آزمایش قرار می‌دهیم. بدیهی است که در این آزمایش باید بارهای الکتریکی (لامپ در شکل ۲-۱۲) را از مدار خارج کنیم تا تکمیل مدار از طریق سیم نوتراول ممکن نشود. صدای زنگ به معنی

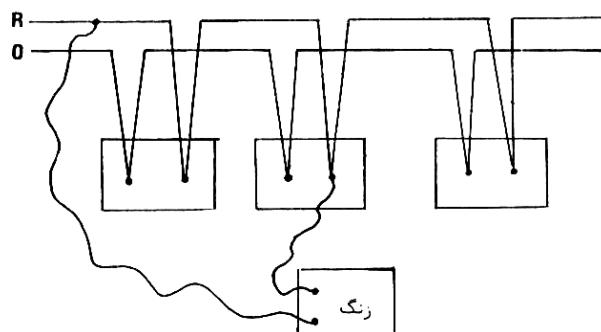
برقرار بودن مدار و اتصال صحیح اجزاء است و برقرار نبودن مدار به معنی عدم اتصال صحیح یا اتصال احتمالی آنها روی سیم نوترال می باشد. در شکل (a) قطع کلید یا فیوز موجب قطع مدار می شود که نشان دهنده اتصال صحیح این اجزاء روی فاز است. در صورتی که لامپ را از مدار خارج نکرده باشیم و کلید یا فیوز روی سیم نوترال متصل شده باشد (شکل ۲-۱۲ b) اتصال را اشتباهاً صحیح تشخیص می دهیم.

۳-۱۲- آزمایش متصل بودن مدارها

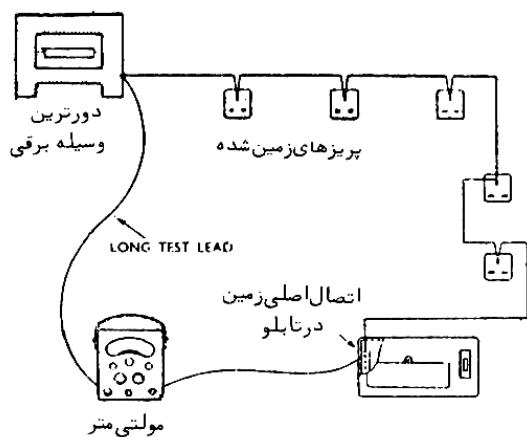
برای حصول اطمینان از اتصال صحیح مدارها از زنگ اخبار استفاده می کنیم. برای این کار یکی از دو سیم زنگ اخبار را به ابتدای مدار (در تابلو توزيع) متصل می کنیم و سیم دوم را به نقاط دیگر مدار حرکت می دهیم تا از اتصال آنها اطمینان حاصل شود. در شکل ۳-۱۲ اتصال سیم فاز چند پریز را به یک مدار مورد آزمایش قرار داده ایم. آزمایش اتصال سیم نوترال هم به همین ترتیب انجام می شود.

۴-۱۲- آزمایش اتصال صحیح سیم زمین

به طوری که در فصل قبل دیده ایم بدن فلزی همه دستگاه های برقی و دیگر اجسام فلزی در دسترس باید به سیم زمین متصل باشند. این آزمایش را می توان به وسیله آومتر مطابق شکل ۴-۱۲ انجام داد. مقاومت بدن دورترین وسیله متصل نسبت به اتصال اصلی زمین نباید از حد اکثر ۱ آهم متجاوز گردد. البته باید در نظر داشت که به نتیجه این آزمایش با آومتر نمی توان اکتفا نمود. زیرا در صورتی که بدن دستگاهی اتصال شلی به بدن داشته باشد این آزمایش اتصال را صحیح نشان می دهد لیکن عبور جریان زیاد در عمل این گونه اتصال را گرم می کند و سبب ذوب آن می شود که ممکن است سبب بروز جرقه یا خطرات دیگر شود. بیشتر مقررات لازم می دانند پس از این آزمایش مقدماتی سیم زمین با جریانی معادل یک و نیم برابر جریان مجاز مدار تا حد اکثر ۲۵ آمپر مورد آزمایش قرار گیرد تا هرگونه اتصال ناقص یافت شود و اصلاح گردد.



شکل ۳-۱۲: آزمایش متصل بودن مدارها

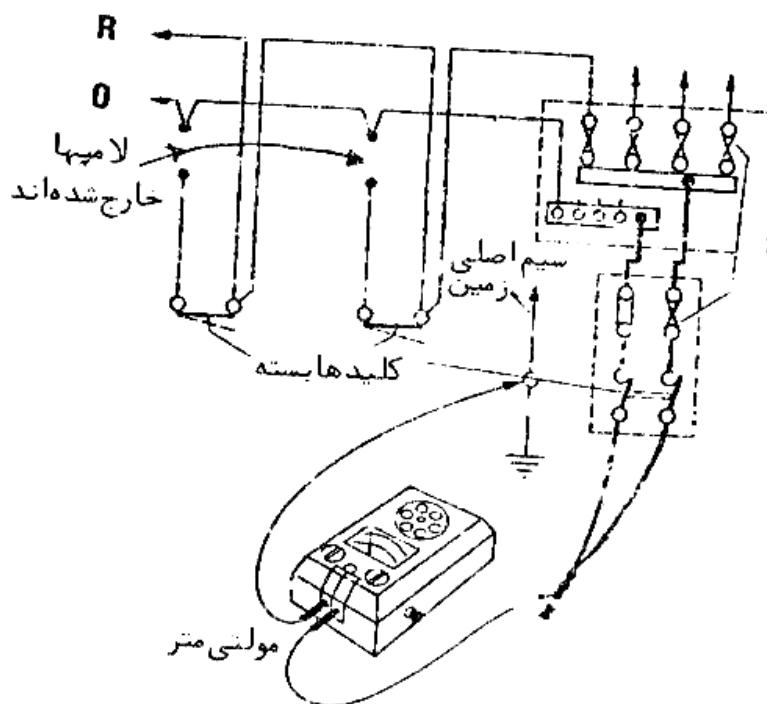


شکل ۳-۱۲: آزمایش متصل بودن سیم زمین

۵-۱۲- آزمایش عایق بندی

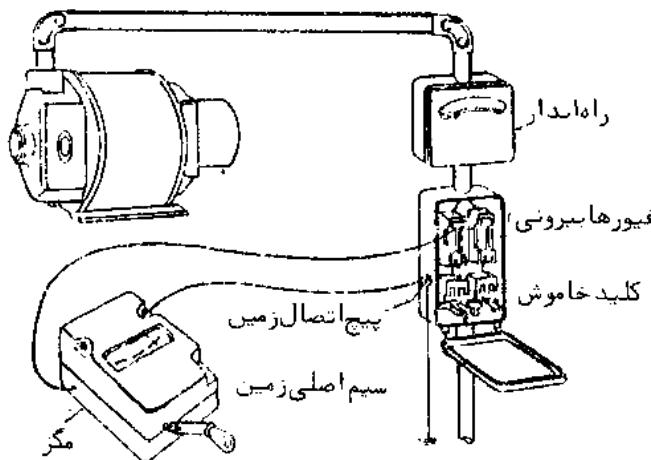
هدف از این آزمایش کسب اطمینان از سالم بودن عایق سیمهای می باشد. عایق های معیوب سبب برقراری جریان های نشستی می شوند که بالاخره منجر به خرابی کامل عایقها و اتصال کوتاه می شود.

برای این منظور بیشتر مقررات لازم می دانند در آزمایش تعیین مقاومت عایقی سیستم های سیم کشی از ولتاژ مستقیمی به میزان دو برابر ولتاژ اسمی مدار به شرطی که از ۵۰۰ ولت متجاوز نگردد استفاده شود. بنابراین معمولاً از مگر ۵۰۰ ولتی استفاده به عمل می آید. استفاده از ولتاژ مستقیم این مزیت را دارد که جریانی از خازن های موجود نمی گذرد و لذا تنها مقاومت به طور دقیق اندازه گیری می شود برای تعیین مقاومت عایقی یک سیستم قبل از اتصال آن به شبکه همه فیوزها و کلیدها را در حالت متصل باقی می گذاریم و تمام بارهای برقی را از مدار خارج میکنیم. سیمهای حامل جریان (فاز و نوترال) را در تابلو توزیع به هم متصل می کنیم و مطابق شکل ۵-۱۲ مگر را بین سیمهای متصل شده به هم و زمین در تابلو توزیع وصل می کنیم.



شکل ۵-۱۲: آزمایش مقاومت عایقی

مقدار مقاومت قابل قبول بستگی به اندازه سیستم تحت آزمایش دارد. سیستم های خیلی بزرگ را به سیستم های کوچکتر تقسیم می کنیم به طوری که هر سیستم کمتر از ۵۰ شعله نداشته باشد. مقاومت اندازه گیری شده نباید کمتر از ۱ مگاهم کمتر باشد. مقاومت عایقی موتورها و دستگاه های دیگر هم به طور جداگانه آزمایش نمود. در شکل ۶-۱۲ یک موتور جریان مستقیم با راه انداز و فیوزها مورد آزمایش قرار گرفته است.



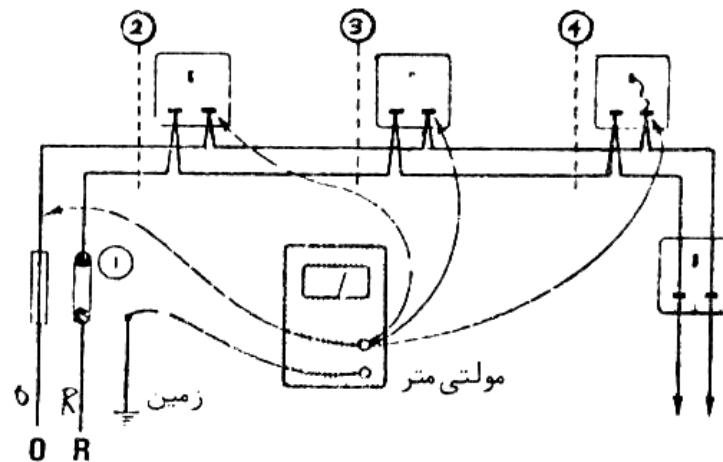
شکل ۱۲-۶: آزمایش مقاومت عایقی موتور جریان مستقیم با قسمتی از تجهیزات

به طوری که ملاحظه می کنید کلید جداگانه باز است. دو سیم مثبت و منفی با سیمی به هم متصل شده اند و مگر بین سیمهای و بدنه کلید که زمین شده است وصل است. در صورتی که آزمایش موتور به تنها یی مورد نظر باشد دو سیم ورودی به موتور را در سر موتور باز می کنیم و از این محل آزمایش را انجام می دهیم. در صورت لزوم می توان با بلند کردن جاروبکها آزمایش را تنها روی سیم پیچ تحریک انجام داد. اگر مقاومت عایقی سیم کشی قدری کمتر از ۱ مگاهم و مقاومت عایقی وسایل الکتریکی کمتر از ۰/۵ مگاهم باشد ممکن است به علت جذب رطوبت باشد. در این صورت می توان با عبور دادن جریان آنها را گرم و خشک کرد و مجددآ مورد آزمایش قرار داد. در صورتی که مقاومت عایقی در اثر صدمه مکانیکی و زخمی شدن سیمهای کاهش یافته باشد باید عیب یابی و رفع عیب به عمل آید.

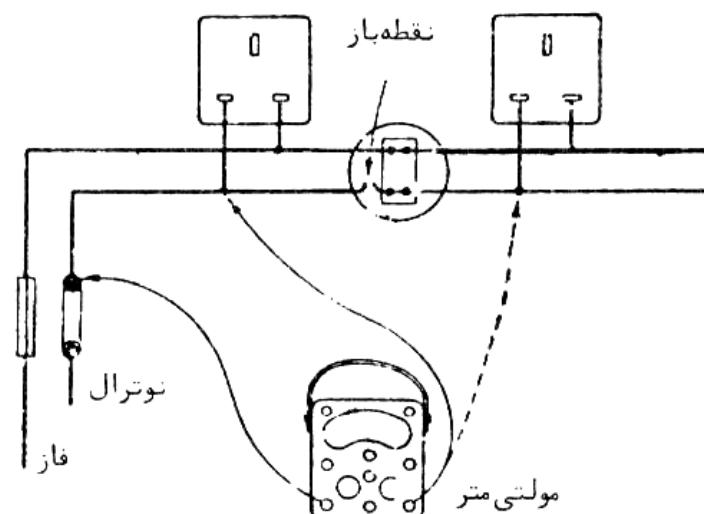
۱۲-۶- عیب یابی و رفع عیب

در یک سیستم سیم کشی سالم مقاومت عایقی باید بیش از ۱ مگاهم باشد. مقاومت عایقی بین فاز و نوترال هم کمتر از ۱ مگاهم نباشد و اتصالهای الکتریکی لازم برقرار باشد. در سیستم های برقی پس از تکمیل ممکن است سه نوع عیب دیده شود:

اول اینکه مقاومت سیستم از ۱ مگاهم خیلی کمتر باشد که ممکن است به علت وجود یک اتصالی ناقص با زمین باشد. برای پیدا کردن اتصالی به زمین در تابلو اصلی فیوزها و اتصال نوترال ورودی را باز می کنیم و هر مدار را به طور جداگانه با زمین آزمایش می کنیم. تا مدار یا مدارهای معیوب پیدا شوند. حال اتصالی می تواند در خود مدار یا وسایل متصل به مدار باشد. با قطع کردن وسایل متصل یک به یک وسیله معیوب را پیدا می کنیم. در صورتی که عیب از خود مدار باشد برای پیدا کردن آن اولین جعبه اتصال را باز می کنیم و اتصال سیم های مدار معیوب را باز کرده و از تابلو سیم فاز و نوترال مدار را مورد آزمایش قرار می دهیم. در صورت سالم بودن مدار را از جعبه اتصال دوم باز کرده و از جعبه اول آزمایش می کنیم به همین ترتیب کار را ادامه می دهیم تا قسمت معیوب معین شود. در سیستم سیم کشی داخل لوله، تعویض سیم معیوب معمولاً به سهولت ممکن است. در شکل ۱۲-۷ نحوه پیدا کردن اتصالی فاز به بدنه در مداری که تعدادی پریز را تغذیه می کند نشان داده شده است. عیب دیگری که گاهی دیده می شود اتصالی فاز و نوترال به هم است بدون اینکه اتصالی بقیه می موجود باشد این گونه عیبها معمولاً به علت اتصال اشتباہ در کلیدها، فیوزها و سرپیچها به وجود می آیند. احتمال اینکه دو سیم فاز و نوترال در داخل لوله به هم متصل شده باشند بدون اینکه به زمین وصل شده باشند بسیار کم است. این گونه عیبها با همان روشی که برای اتصال به زمین گفته شد با استفاده از مولتی متر یافته می شوند. عیب سوم که ممکن است دیده شود باز بودن مدار است. این عیب معمولاً به علت لخت کردن ناقص سر سیمهای یا زخمی کردن رشته های سیم هاست که متعاقباً در اثر کشش مکانیکی باعث قطع سیم می شود. این گونه عیبها هم به کمک مولتی متر به سهولت یافته می شوند. در شکل ۱۲-۸ طریقه یافتن نقطه باز یک مدار تغذیه تعداد پریز نشان داده شده است.



شکل ۱۲ - ۷: آزمایش تعیین محل اتصال به زمین



شکل ۱۲ - ۸: آزمایش یافتن نقطه باز مدار

