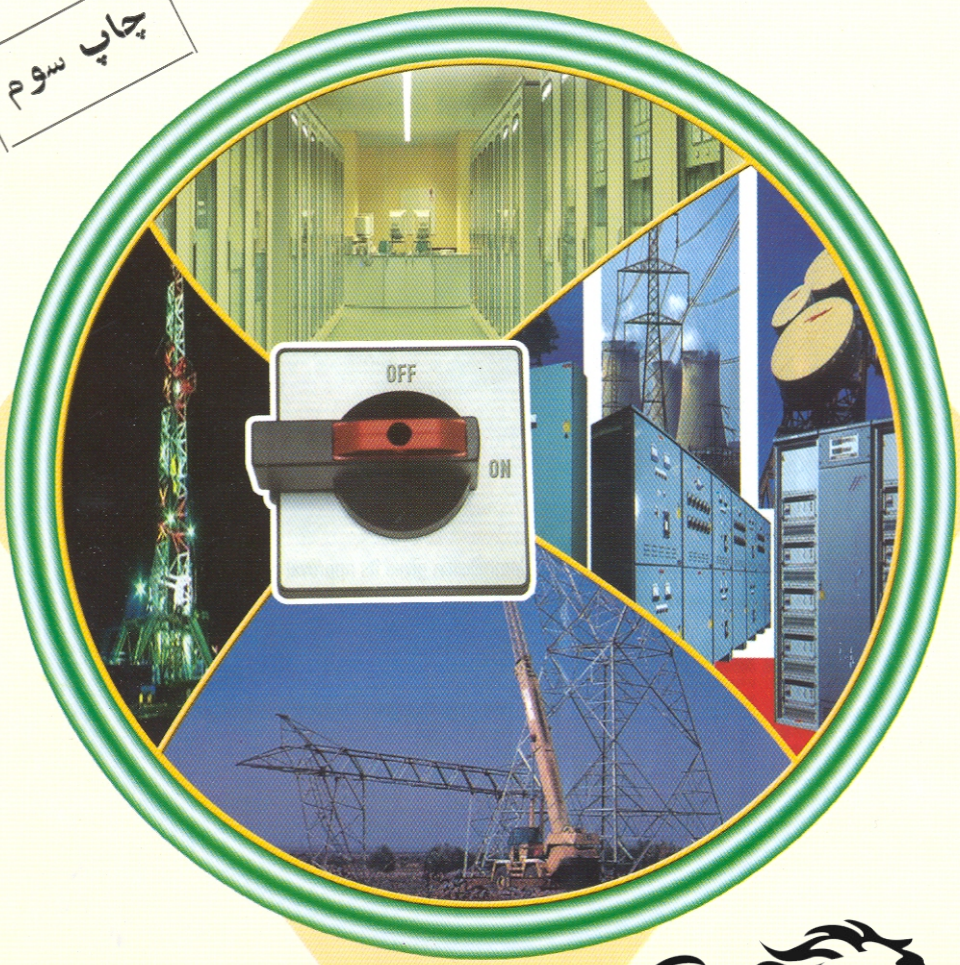
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

حفاظت و رله‌ها

چاپ سوم



POWEREN.IR

تألیف: دکتر حسین عسکریان ابیانه
دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

بسم الله الرحمن الرحیم

حفاظت و رله‌ها

مؤلفان

دکتر حسین عسکریان‌ابیانه

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

مهندس مهدی طالشیان

بهارسال ۱۳۸۵

عسکریان‌ابیانه، حسین، ۱۳۳۶ -
حفاظت و رله‌ها / مؤلف حسین عسکریان‌ابیانه.ــ تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۸۵.
۳۱۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.
ISBN: 964-463-097-1
فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
کتابنامه: ص ۳۰۳.
چاپ سوم: ۱۳۸۵.
۱. رله‌های محافظ. ۲. برق - - سیستمها - - حفاظت. ۳. رله‌های برقی. ۴. ترانسفورماتورها. دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران). مرکز نشر. ج. عنوان.
۷ح ۵ع/TK۲۸۶۱ ۶۲۱/۳۱۷
کتابخانه ملی ایران ۸۰-۲۰۹۳م

انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب : حفاظت و رله‌ها
مؤلفان : دکتر حسین عسگریان‌ابیانه ـ مهندس مهدی طالشیان
ناشر : انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی : مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)
چاپ سوم : بهار ۱۳۸۵
تیراژ : ۱۵۰۰ نسخه
قیمت : ۲۶۵۰ تومان
شابک : ۹۶۴-۴۶۳-۰۹۷-۱
تلفن مرکز پخش: ۶۶۴۹۸۸۶۸
ISBN: 964-463-097-1
آدرس: خیابان ولی‌عصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

بسمه تعالی

مقدمه چاپ دوّم

هدف از تألیف چاپ دوّم کتاب حاضر، تهیه مجموعه‌ای علمی - فنی در زمینه حفاظت سیستم‌های قدرت است که بتواند مورد استفاده دانشجویان عزیز دانشگاهها و مهندسین برق که در صنعت برق، صنایع وابسته به آن و یا شرکتهای مشاوره‌ای و پیمانکاری فعالیت می‌نمایند قرار گیرد. در این مجموعه تصحیحات مربوط به چاپ اوّل صورت گرفته و بخشهایی مانند فیوزها که فاقد مسایل بوده‌اند، تمرینها اضافه شده‌اند.

در این کتاب سعی شده است از منابع موجود شامل مقالات چاپ شده در مجلات معتبر بین‌المللی و داخلی و همچنین کتب منتشر شده در این زمینه و رساله‌های کارشناسی ارشد و دکتری دانشجویان تحت نظر اینجانب استفاده گردد و مجموعه‌ای در برگیرنده پایه‌های نظری و تئوری توأم با مثالهای کاربردی تقدیم گردد. در فصل‌های اول تا ششم رله‌ها و حفاظت که کاربرد وسیعی دارند نظیر حفاظتهای جریان زیاد و زمین، فیوزها، حفاظت‌های دیستانس و دیفرانسیلی تشریح می‌گردند و در دو فصل هفتم و هشتم به کاربرد حفاظتهای یاد شده و سایر حفاظتها در سیستم قدرت مورد بحث پرداخته می‌شود. به عبارت دیگر در فصل هفتم به کاربرد رله‌های مورد بحث در فصلهای اول تا ششم در حفاظت ژنراتورها، ترانسفورماتورها و شینه‌ها پرداخته می‌شود و هم به حفاظتهای خاص اجزاء قدرت مورد حفاظت در این فصل نظیر حفاظت قطع تحریک ژنراتورها و... توجه می‌شود. بر همین اساس فصل هشتم نیز که به حفاظت شبکه‌های صنعتی اختصاص دارد کاربرد رله‌های موردنیاز در شبکه‌های صنعتی را شرح خواهد داد.

در مجموع، این کتاب ضمن اینکه سیلابس درسی حفاظت و رله‌های سال پایانی دانشجویان کارشناسی مهندسی برق - قدرت را دربرمی‌گیرد، می‌تواند مورد استفاده مهندسین شاغل در صنعت برق هم واقع شود. امید است این کتاب بتواند در جهت ارتقاء سطح علمی - فنی کشور جمهوری اسلامی ایران، هر چند ناچیز، مؤثر واقع شود.

در پایان لازم می‌دانم از زحمات مسئولین محترم انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر بواسطه علاقمندی و پیگیری‌های مستمر در چاپ کتاب، آقایان مهندس متین مشکین و مهندس خدامی و مهندس رضوی بواسطه کمک و ویراستاری علمی - ادبی، از سرکار خانم قنبریان بواسطه همراهی در ویراستاری ادبی و سایر دوستان و همکاران دانشگاهی و صنعتی و دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری که در تألیف و تدوین کتاب یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از خانواده‌ام که در طول مدت تألیف صبر و شکیبائی داشته‌اند سپاسگزارم.

حسین عسکریان ابیانه

مهدی طالشیان جلودار

۱۳۸۲

فهرست

عنوان صفحه

فصل اول: اصول مقدماتی

مقدمه ۱
۱ـ۱ رله‌های حفاظتی ۲
۱ـ۲ سیستم‌های واحد و غیرواحد ۴
۱ـ۳ حفاظت اصلی و پشتیبان ۴
۱ـ۴ رویهم قرار گرفتن نواحی حفاظتی ۵
مراجع ۷

فصل دوم: حفاظت جریان زیاد و زمین

مقدمه ۹
۲-۱- اصول ساختمانی رله‌های حفاظتی ۹
۲-۱-۱- رله‌های الکترومکانیکی ۱۰
۲-۱-۲- رله‌های استاتیکی ۱۱
۲-۱-۳- میکروپروسسوری ۱۵
۲-۲- انواع رله‌های جریان زیاد ۱۵
۲-۲-۱- رله‌های زمان ثابت ۱۵
۲-۲-۲- رله‌های جریان زیاد با منحنی مشخصه کاهشی ۱۷
۲-۳- اصول کار رله‌ها با منحنی مشخصهٔ کاهشی ۱۸
۲-۳-۱ انواع رله‌های با منحنی مشخصه کاهشی ۲۰
۲-۳-۲- مدل‌های چند جمله‌ای باجاج و اسمولک ۲۲
۲-۳-۳- مدل پیشنهادی رادکه ۲۳
۲-۳-۴- مدل پیشنهادی ساچدو ۲۳
۲-۳-۵- مدل ضرب دو چند جمله‌ای زمان و جریان ساچدو ۲۴
۲-۳-۶- تنظیم‌های جریانی و زمانی ۲۵
۲-۴- رله‌های جریان زیاد و زمین همراه با سایر رله‌ها ۲۷

۱-۴-۲- رله جریان زیاد همراه با عنصر سریع ۲۷
۲-۴-۲- رله‌های جریان زیاد همراه با عنصر جهت دار ۲۹
۵-۲- تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد با منحنی کاهشی ۳۲
مسائل ۳۷
مراجع ۴۰

فصل سوم: ترانسفورماتورهای حفاظتی جریان و ولتاژ

مقدمه ۴۳
۱-۳- خصوصیات ترانسفورماتور جریان حفاظتی ۴۴
۱-۱-۳- کلیات ۴۴
۲-۱-۳- انواع ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی از نظر ساختمان ۴۴
۱ـ۲ـ۱ـ۳ـ ترانسفورماتورهای جریان با هسته پایین ۴۴
۲ـ۲ـ۱ـ۳ـ ترانسفورماتورهای جریان با هسته بالا ۴۵
۳-۱-۳- تفاوت ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با ترانسفورماتورهای توان ... ۴۶
۴-۱-۳- معیارهای انتخاب ترانسفورماتور جریان حفاظتی ۴۷
۵-۱-۳- منحنی اشباع ترانسفورماتور جریان حفاظتی ۴۹
۱ـ۵ـ۱ـ۳ـ منحنی اشباع ترانسفورماتور جریان حفاظتی ۴۹
۲ـ۵ـ۱ـ۳ـ جریان تحریک هسته ۵۰
۳ـ۵ـ۱ـ۳ـ منحنی مغناطیس هسته ۵۱
۴ـ۵ـ۱ـ۳ـ خطی کردن منحنی مغناطیسی هسته ۵۲
۲-۳- مدل ترانسفورماتور جریان حفاظتی ۵۳
۱-۲-۳- شبیه سازی هسته با در نظر گرفتن منحنی اشباع ۵۵
۲ـ۲ـ۳ـ شبیه‌سازی ترانسفورماتورهای جریان به روش زمان واقعی ۵۶
۳ـ۲ـ۳ـ شبیه‌سازی زمان واقعی ترانسفورماتورهای جریان با روش ولتاژ بردن ۶۰
۴ـ۲ـ۳ـ شبیه‌سازی ترانسفورماتورهای جریان با در نظر گرفتن اثر پس‌ماند و روش تقلیل خطی ۶۱
۵ـ۲ـ۳ـ تصحیح روش زمان واقعی جهت در نظر گرفتن اثر پس‌ماند ۶۹
۳-۳- مشخصات ترانسفورماتور جریان و نحوه کارکرد ۷۲
۱-۳-۳- مقدمه ۷۲

۲-۳-۳- دقت ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی ۷۳
۳-۳-۳- جریانهای حدود دقت در ترانسفورماتورهای جریان ۷۷
۴-۳-۳- طبقه‌بندی ترانسفورماتور جریان از نظر کلاس دقت ۷۸
۴-۳- ترانسفورماتورهای ولتاژ حفاظتی..... ۷۸
۱-۴-۳- ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو..... ۷۹
۲-۴-۳- ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی..... ۸۲
۳-۴-۳- انتخاب و رفتار ترانسفورماتور ولتاژ ۸۳
مسائل:..... ۸۵
مراجع ۸۷

فصل چهارم: فیوزها

مقدمه..... ۸۹
۱-۴- تعاریف و مشخصات فیوزها..... ۹۰
۱ـ۱ـ۴ـ جریان نامی و حداقل جریان ذوب عنصر فیوز ۹۰
۲-۱-۴- مشخصه زمان – جریان ۹۱
۳ـ۱ـ۴ـ مزایای فیوز ۹۵
۴-۱-۴- معایب فیوز ۹۶
۲-۴- تقسیم بندی فیوزها به لحاظ عملکرد ۹۶
۳ـ۴ـ انواع فیوزها بلحاظ ساختمانی..... ۹۷
۱ـ۳ـ۴ـ فیوزهای معمولی ۹۷
۲ـ۳ـ۴ـ فیوزهای تأخیری ۹۹
۳ـ۳ـ۴ـ فیوزهای با جزء ذوب شوندهٔ دوقسمتی ۱۰۳
۴-۴- انواع فیوزها به لحاظ محدود کنندگی جریان ۱۰۳
۱-۴-۴- فیوزهای محدود کننده جریان ۱۰۳
۲-۴-۴- فیوزهای غیر محدود کنندهٔ جریان..... ۱۰۷
۵ـ۴ـ انواع فیوزها از نظر قدرت ۱۰۷
۱ـ۵ـ۴ـ فیوزهای فشار ضعیف..... ۱۰۷
۲ـ۵ـ۴ـ فیوزها کات – اوت ۱۰۹
۳ـ۵ـ۴ـ فیوزهای قدرت ۱۰۹

۴ـ۶ـ طراحی فیوزها و بررسی عملکرد آنها ۱۱۳
۱ـ۶ـ۴ـ محاسبات جریان فیوزی برحسب درجه حرارت ۱۱۳
۲ـ۶ـ۴ـ عملکرد فیوز در حالت ماندگار ۱۱۵
۳ـ۶ـ۴ـ تحلیل منحنی مشخصه فیوز باتوجه به درجه حرارت ۱۱۶
۴-۷- قواعد هماهنگی ۱۱۷
۱-۷-۴- قاعده هماهنگی رله - رکلوزر ۱۱۸
۲-۷-۴ قاعده هماهنگی رکلوزر - رکلوزر ۱۱۹
۳-۷-۴- قاعده هماهنگی رکلوزر - جداکننده ۱۱۹
۴-۷-۴- قاعده هماهنگی رکلوزر - جداکننده - فیوز ۱۲۰
۵-۷-۴- قاعده هماهنگی رله - فیوز ۱۲۰
۶-۷-۴- قاعده هماهنگی رله - رله ۱۲۱
۷-۷-۴- قاعده هماهنگی فیوز - فیوز ۱۲۱
۸ـ۷-۴- جدول قواعد هماهنگی ۱۲۱
۸ـ۴ـ انتخاب هماهنگی عناصر جریان زیاد ۱۲۳
۱ـ۸ـ۴ـ انتخاب فیوز در انتهای شاخه ۱۲۳
۲ـ۸ـ۴ـ تنظیم رلهٔ جریان زیاد در انتهای شاخه ۱۲۴
۳ـ۸ـ۴ـ مراحل انتخاب و هماهنگی رله - فیوز ۱۲۴
۴ـ۸ـ۴ـ مراحل انتخاب و هماهنگی فیوز - رله ۱۲۶
۵ـ۸ـ۴ـ هماهنگی فیوز - فیوز ۱۲۷
۶ـ۸ـ۴ـ مراحل انتخاب و هماهنگی بین رکلوزر و فیوز ۱۳۱
۹ـ۴ـ استفاده از فیوز برای محافظت ۱۳۶
۱ـ۹ـ۴ـ محافظت سیمها و کابلهای انشعابهای معمولی ۱۳۶
۲ـ۹ـ۴ـ فیوز بندی مدارهای برق رسانی ۱۳۷
۳ـ۹ـ۴ـ محافظت انشعاب موتورها ۱۳۹
۴ـ۹ـ۴ـ حفاظت موتورها در مقابل بار اضافی ۱۳۹
مراجع: ۱۴۱

فصل پنجم: حفاظت دیستانس

مقدمه ۱۴۳

۵-۱ـ اصول کار رله‌های دیستانس ۱۴۳
۵-۲ـ ساختمان رلهٔ دیستانس ۱۴۴
۵-۳ـ انواع رله‌های دیستانس ۱۴۵
۵-۳-۱ـ رلهٔ دیستانس با مشخصه امپدانس یا تخت ۱۴۶
۵-۳-۲- رله دیستانس با مشخصه مهو ۱۴۸
۵-۳-۳- رلهٔ دیستانس با مشخصه افست مهو ۱۴۹
۵-۳-۴ رلهٔ دیستانس با مشخصهٔ راکتانسی ۱۵۰
۵-۳-۵- رلهٔ دیستانس با مشخصه اهمی ۱۵۱
۵-۳-۶- رله دیستانس با مشخصه کوآد (چهارگوش) ۱۵۱
۵-۴- رله‌های تشخیص دهندهٔ نوسان قدرت ۱۵۲
۵-۵ ورودیهای رله‌های دیستانس ۱۵۴
۵-۶ تنظیم و هماهنگی رلهٔ دیستانس ۱۵۸
۵-۷- درصد کاهش برد ناشی از خطوط موازی و چند ترمیناله ۱۶۰
۵-۷-۱ کاهش برد در خطوط موازی ۱۶۰
۵-۷-۲ـ کاهش برد در خطوط چند ترمیناله ۱۶۱
مسائل: ۱۶۳
مراجع: ۱۶۵

فصل ششم: حفاظت تفاضلی

مقدمه ۱۶۷
۶-۱- سیستمهای حفاظت جریان گردش ۱۶۸
۶-۱-۱ رله‌های امپدانسی رله تفاضلی امپدانس بالا و یا مقاومت پایدار ساز ۱۷۰
۶-۱-۲ـ رله‌های بایاس‌دار ۱۷۲
۶-۲ـ اصول حفاظت تفاضلی با موازنه ولتاژ ۱۷۵
۶-۳- سیستم‌های حفاظتی موازنه ولتاژ با توجه به اثر سیم پایلوت ۱۷۹
۶-۴ـ روشهای انتقال اطلاعات در حفاظت تفاضلی ۱۸۴
۶-۵ منحنی مشخصهٔ ایده‌آل طرحهای حفاظت تفاضلی توسط سیم پایلوت ۱۸۶
۶-۶ حفاظت تفاضلی خطوط چند پایانه ۱۸۶
مسائل: ۱۸۷

مراجع: ۱۸۹

فصل هفتم: حفاظت ژنراتورها، ترانسفورماتورها و شینه‌ها

مقدمه ۱۹۱
۱-۷- حفاظت ژنراتورها ۱۹۲
۱-۱-۷- انواع خطاهای معمول در ژنراتورها ۱۹۲
۱-۱-۷- روشهای حفاظت استاتور ۱۹۲
۱-۱-۷- روشهای حفاظت رتور ژنراتورها در مقابل انواع خطاها ۱۹۹
۱-۱-۷- حفاظت در مقابل بار ناخواسته ۲۰۱
۲-۷- حفاظت ترانسفورماتورها ۲۰۵
۱-۲-۷- طبیعت خطاها در ترانسفورماتور ۲۰۵
۲-۲-۷- انواع خطاهای معمول در ترانسفورماتورها ۲۰۷
۳-۲-۷- روشهای حفاظت ترانسفورماتورها در مقابل انواع خطاها ۲۰۷
۱-۳-۲-۷- حفاظت در مقابل خطای فاز - فاز ۲۰۷
۲-۳-۲-۷- حفاظت اتصال به زمین یک فاز ۲۱۰
۳-۳-۲-۷- حفاظت بوخهلس ۲۱۲
۴-۳-۲-۷- سایر حفاظت‌ها ۲۱۲
۳-۷- حفاظت شینه؛ ۲۱۳
۱-۳-۷- انواع خطاها و حفاظتهای معمول برای شینه‌ها ۲۱۳
۲-۳-۷- روشهای حفاظت شینه‌ها در مقابل انواع خطاها ۲۱۳
۱-۲-۳-۷- حفاظت شینه در مقابل خطای فاز - فاز ۲۱۳
۲-۲-۳-۷- حفاظت شینه در برابر خطای وصل بدنهٔ کلید زن به زمین ۲۱۴
۴-۲-۳-۷- حفاظت شینه در برابر خطای اتصال به زمین ۲۱۵
مسائل: ۲۱۶
مراجع: ۲۱۹

فصل هشتم: حفاظت شبکه‌های صنعتی

مقدمه ۲۲۱
۱-۸- ویژگیهای شبکه‌های صنعتی ۲۲۲

۸-۱-۱- آرایش باس‌بارها ۲۲۲
۸-۱-۲- فیوزهای HRC ۲۲۳
۸-۱-۳- چگونگی استفاده از فیوزها در شبکه‌های صنعتی ۲۲۴
۸-۱-۴- مشارکت موتورهای القایی در جریانهای خطا ۲۲۷
۸-۱-۵- سیستمهای متغیر خودکار ۲۲۹
۸-۱-۶- حفاظت از ولتاژ و توالی فازها ۲۳۲
۸-۱-۷- حفاظت فیدر ۲۳۳
۸-۱-۸- استفاده از موتورهای سنکرون ۲۳۴
۸-۱-۹- حفاظت خازن ۲۳۵
۸-۱-۱۰- حفاظت موتورها ۲۳۶
۸-۲- عوامل مخرب موتورها ۲۳۷
۸-۳- اثر مؤلفه‌های موتور ۲۴۳
۸-۴- حفاظت از موتورها در مقابل خطاهای وارده ۲۴۸
۸-۴-۱- حفاظت در مقابل کاهش ولتاژ ۲۵۱
۸-۴-۲- حفاظت در مقابل عدم‌تعادل فاز ۲۵۵
۸-۴-۳- حفاظت جریان زیاد فاز ۲۵۸
۸-۴-۴- حفاظت اضافه بار ۲۶۲
۸-۴-۵- حفاظت در مقابل قفل‌شدگی روتور ۲۶۸
۸-۴-۶- حفاظت زمین ۲۷۲
۸-۴-۷- حفاظت تفاضلی جریان فاز ۲۷۵
۸-۴-۸- عدم تعادل جریان در دو نیمه سیم‌پندی ۲۷۹
۸-۴-۹- حفاظت‌های اضافی برای موتورهای سنکرون ۲۸۰
۸-۴-۱۰- حفاظت موتور با روتور سیم‌پیچی شده ۲۸۴
۸-۴-۱۱- آرایش حفاظت موتورهای با قدرت نامی کمتر از ۱۵۰۰ hp ۲۸۶
۸-۴-۱۲- آرایش حفاظت موتورها با قدرت نامی بیشتر از ۱۵۰۰hp ۲۸۶
۸-۴-۱۳- حفاظت فیوزی موتورها ۲۸۸
۸-۵- حفاظت موتورها تحت شرایط بهره‌برداری ۲۹۰
۸-۵-۱- افت ولتاژهای لحظه‌ای و تأثیر آنها روی موتورهای القایی ۲۹۰

۲ـ۵ـ۸ـ افت ولتاژهای لحظه‌ای و تأثیر آن روی موتورهای سنکرون ۲۹۶
۳ـ۵ـ۸ـ نجات موتورها تحت شرایط اتصال کوتاه و یا افت ولتاژ ۲۹۹
مراجع ۳۰۳

PowerEn.ir

فصل ۱

اصول مقدماتی

مقدمه

قبل از بررسی استفاده از نتایج تحلیل خطا در حفاظت سیستم‌های قدرت (که این مسئله شامل خطاهای سه‌فاز متعادل و همچنین خطاهای نامتعادل مختلف است که ممکن است روی سیستم قدرت اتفاق افتد و در کتب تحلیل سیستم قدرت درباره آنها بحث می‌شود و پایه‌ای برای محاسبات جریانهای خطا و سایر پارامترهای موردنیاز در شبکه می‌باشد)، لازم است تمهیداتی اندیشیده شود که در صورت بروز خطا، در حداقل زمان ممکن قطع شود تا حداقل خسارت به سیستم وارد شود. سیستمی که پس از وقوع خطا سبب می‌شود حداقل قطعی برق در سیستم قدرت وجود داشته باشد و در عین حال حداقل خسارت به تجهیزات شبکه وارد شود حفاظت سیستم قدرت نام دارد [۲و۱].

بطور کلی وقوع خطا نتایج زیانبار ذیل را در پی دارد:

۱- با عبور جریانهای بزرگ غیرعادی از بخشی از شبکه، تجهیزات بیش از حد گرم می‌شوند.

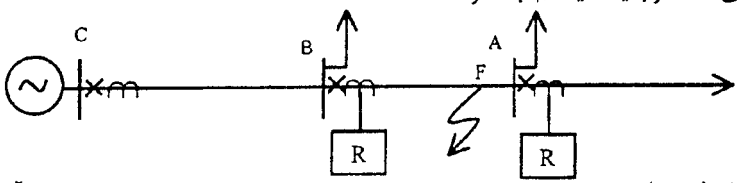
۲- ولتاژهای سیستم خارج از میزان قابل قبول قرار می‌گیرد، نتیجه اینکه ممکن است به تجهیزات خسارت وارد شود.

۳- قسمتهایی از شبکه ممکن است سیستم سه‌فاز نامتعادل شود، به این معنی که تجهیزات بطور صحیح نمی‌توانند کار کنند.

لذا بمنظور رفع خطا لازم است سیستم‌های حفاظتی بکاررود که برخی تعاریف موردنیاز آن ذیلاً آورده می‌شود.

الف- سرعت: وظیفه یک سیستم حفاظتی این است که قسمتی را که خطا در آن واقع شده، در کوتاه‌ترین زمان ممکن از سایر قسمتهای شبکه جدا کند. هرچه زمان عملکرد رله کمتر باشد، سرعت آن بیشتر است. شکل (۱-۱) یک شبکه قدرت کوچک و رله نصب شده در آن را نشان می‌دهد. برای خطا درنقطه F، رله نصب شده در B و روی خط BA در سریع‌ترین زمان ممکن باید عمل کند تا قسمت دارای خطا از بقیه سیستم جدا گردد.

PowerEn.ir

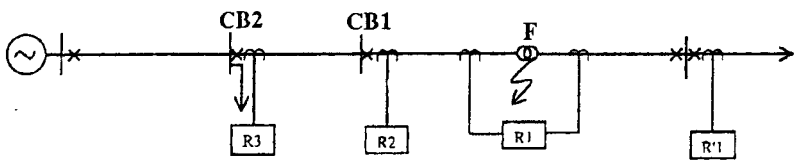


شکل (۱ـ۱): یک شبکه کوچک به همراه رله‌های حفاظتی نصب شده روی آن

ب- حساسیت: حساسیت به طورکلی عبارت از کمترین جریان موردنیاز برای عملکرد یک سیستم حفاظتی است. از دیدگاه دیگر می‌توان حساسیت را ولت - آمپر مصرفی در جریان قطع نامید. بر این اساس رله یک آمپری حساس‌تر از رله ۵ آمپری است.

ج- تشخیص، انتخاب: منظور از تشخیص یا انتخاب عبارت است از خاصیت تمیز دادن تحت شرایط خطا، مبنی بر این که کلید قدرت مناسب قطع شود و نتیجه آن قطع حداقل سیستم باشد. به عنوان مثال در شکل (۲ـ۱) برای خطا در نقطه F تشخیص مناسب آن است که رله R_1 و کلید CB_1 قطع شود و کلید دیگر نظیر CB_2 که پشتیبان CB_1 است عمل نکند.

د- پایداری: عبارت است از توانایی یک سیستم حفاظتی در این که در تمام حالات نسبت به خطای خارج از ناحیه حفاظتی مربوطه عکس العملی از خود نشان ندهد.



شکل (۲ـ۱): یک شبکه نمونه به همراه رله‌ها و کلیدهای قسمت‌های مختلف

۱ـ۱ رله‌های حفاظتی

یک رله وسیله‌ای است که با باز و بسته کردن مدارشکنها سبب می‌شود که عملکرد وسایل و تجهیزات قدرت الکتریکی، تحت نظارت و کنترل قرار گیرد. عملکرد یک رله تشخیص شرایط

غیرعادی در بخشی از شبکه قدرت است. به عبارت دیگر عملکرد یک رله سبب می‌شود بخشی از شبکه قدرت از بقیه شبکه جدا گردد که این امر باعث عملکرد صحیح بقیه سیستم خواهد شد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

یکی از روشهای دسته‌بندی رله‌ها تقسیم‌بندی براساس وظیفه آنها است. به عبارت دیگر این تقسیم‌بندی براساس پارامتری که رله اندازه می‌گیرد استوار است.

در تقسیم‌بندی که بر مبنای کمیت اندازه‌گیری استوار است، رله‌ها براساس تنظیم اولیه معین شده، کار می‌کنند. مثالهایی از این رله‌ها عبارتند از [۵و۴و۳]:

الف- رله‌های جریانی: این رله‌ها در یک مقدار مشخص جریان (تنظیم جریانی) که قبلاً معین شده است کار می کنند. رله‌های جریانی شامل رله‌های جریان ز یاد و جریان کم هستند.

ب- رله‌های ولتاژی: این رله‌ها در یک مقدار مشخصی از ولتاژ (تنظیم ولتاژی) که قبلاً معین شده است شروع به کار می‌کنند. رله‌های ولتاژی نیز همانند رله‌های جریانی بـه رله‌هـای ولتـاژ زیـاد و رله‌های ولتاژ کم تقسیم می‌شوند.

ج- رله‌های توان: این رله‌ها براساس یک میزانی از قدرت عمل می‌کنند. رله‌های توان به دو دسته قدرت کم و قدرت زیاد تقسیم می‌شوند.

د- رله‌های جهت‌دار:

- جریان متناوب: این رله‌ها براساس ارتباط زاویه فاز بین کمیت‌های آن عمل می‌کنند.
- جریان مستقیم: رله‌های جهت‌دار براساس جهت جریان عمل کرده و معمولاً رله‌های با مغناطیس دایم و سیم‌پیچ متحرک هستند.

هـ- رله‌های فرکانسی: رله‌های فرکانسی براساس فرکانس از قبل تعیین شده عمل می‌نمایند. این رله‌ها شامل فرکانس کم و فرکانس زیاد هستند.

و- رله‌های حرارتی: رله‌های حرارتی بعنوان عناصر حفاظتی در یک درجه حرارت تعیین شده عمل می‌نمایند.

ز- رله‌های تفاضلی: عملکرد این رله‌ها براساس تفاضل مقداری یا برداری دوکمیت هـمچون جریان الکتریکی یا ولتاژ استوار است.

POWEREN.IR

ح- رله‌های دیستانس: رله‌های دیستانس برطبق فاصله بین ترانسفورماتورهای حفاظتی و خطا

عمل می‌کنند. به عبارت دیگر فاصله به کمیاتی چون مقاومت، راکتانس یا امپدانس، تبدیل شده و اندازه‌گیری می‌شود.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

رله‌های حفاظتی از یک یا چند واحد تشخیص دهنده خطا بهمراه واحدهای کمکی ضروری تشکیل شده‌اند. واحدهای اساسی برای سیستم‌های حفاظتی می‌توانند به واحدهای الکترومکانیکی، استاتیکی، نیمه هادیها و میکروپروسسوری تقسیم شوند. رله‌های الکترومکانیکی به رله‌های جذب مغناطیسی، القاء مغناطیسی و یا دآرسونوال و حرارتی تقسیم‌بندی می‌شوند. رله‌های استاتیکی دارای اجزائی با قدرت کم هستند که در قالب تقویت کننده‌های عملیاتی طراحی شده‌اند. حفاظت‌های میکروپروسسوری به مانند سیستم‌های با برنامه کار می‌کنند و می‌توان روی آنها برنامه‌ریزی کرد و همچنین دارای قابلیت انعطاف زیادی هستند.

از طرفی می‌توان سیستم‌های حفاظتی را از نظر نوع تجهیزاتی که حفاظت می‌کنند و یا به لحاظ تقدم و تأخر در حفاظت یک قطعه از تجهیزات، تقسیم‌بندی کرد که این دو نوع تقسیم‌بندی به سیستم‌های واحد و غیرواحد، و اصلی و پشتیبان معروفند و ذیلاً آورده می‌شوند.

۲ـ۱ سیستم‌های واحد و غیرواحد

در شکل (۲ـ۱)، رله R_1 که فقط برای حفاظت داخلی ترانسفورماتور به کار می‌رود، حفاظت واحد، اما رله R_2 که تنها برای حفاظت ترانسفورماتور نمی‌باشد و خطا در نواحی مختلف را هم تشخیص می‌دهد، حفاظت غیرواحد است[۳].

سیستم حفاظتی به‌نحوی طراحی شده است که فقط برای شرایط غیرعادی در منطقه حفاظت شده شبکه قدرت عمل کند، و به سیستم حفاظتی واحد معروف است، اما یک سیستم حفاظتی که تنها از یک قطعهٔ واحد تجهیزات شبکه حفاظت نمی‌کند یا نواحی قطع آن به‌طور مشخص تعریف نشده است، به سیستم حفاظتی غیرواحد موسوم است. رله‌های جریان زیاد و دیستانس از نوع رله‌های غیرواحد هستند.

۳ـ۱ حفاظت اصلی و پشتیبان

وظیفه حفاظت اصلی این است که کلید قدرت روی قسمت دچار خطا شده را با سرعت هرچه تمامتر قطع نماید. اما اگر حفاظت اصلی به هر دلیل عمل نکند، باید حفاظت پشتیبان عمل نماید. چنانچه حفاظت پشتیبان در محل حفاظت اصلی قرار گرفته باشد، به حفاظت پشتیبان محلی و

POWEREN.IR

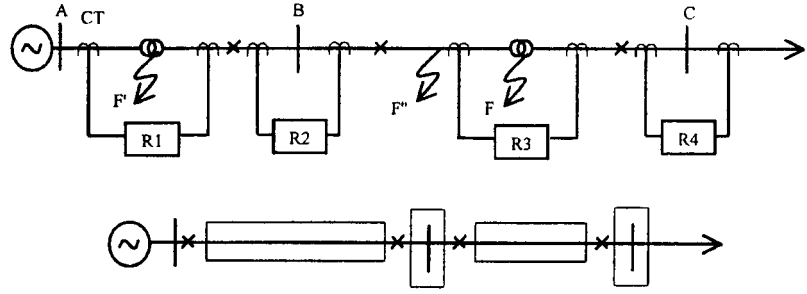
چنانچه دور از حفاظت اصلی باشد، به حفاظت پشتیبان دور موسوم است.

در شکل (۲ـ۱)، برای حفاظت داخلی ترانسفورماتور، ابتدا رله R_1 در کوتاهترین زمان مثلاً ۰/۰۱ ثانیه عمل می‌کند (حفاظت اصلی) و سپس درصورت عدم قطع رله R_1، عمل قطع به ترتیب توسط رله‌های R_2 و R_3 به عنوان رله‌های پشتیبان محلی و دور انجام خواهد شد. لازم به توضیح است رله‌های R_2 و R_3 مثلاً در زمانهای حدود ۰/۳ یا ۰/۶ ثانیه عمل می‌نمایند.

در شکل (۲ـ۱)، برای خطا در نقطه F در ترانسفورماتور، R_1 رله اصلی، R_2 پشتیبان محلی و R_3 پشتیبان دور است.

۴ـ۱ رویهم قرار گرفتن نواحی حفاظتی

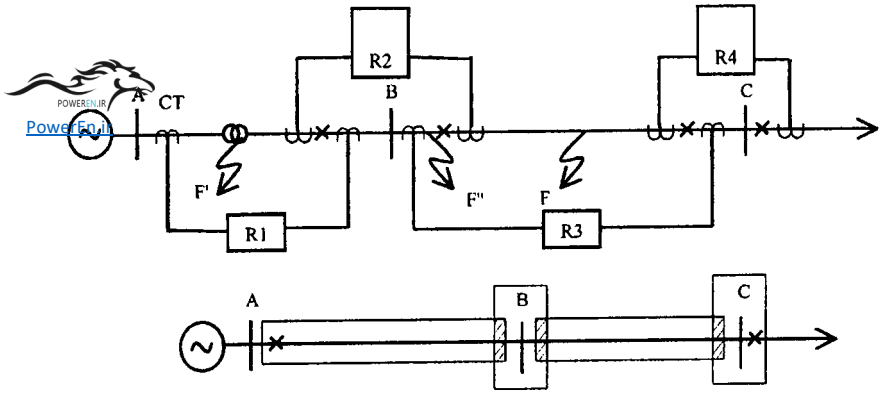
در حفاظت واحد که برای تجهیزات مختلف به کار می‌رود، محل قرارگرفتن ترانسفورماتورهای جریان (C.Tها)[1] باید به گونه‌ای انتخاب گردند که نواحی مجاور حفاظتی رویهم قرار گیرند. به عبارت دیگر، چنانچه C.Tهای حفاظت‌های واحد، مجاور کلید و به طرف قطعه مورد حفاظت (خطوط، ترانسفورماتور و...) قرار گیرند، فاصله بین دو ناحیه حفاظتی مجاور یکدیگر، فاقد حفاظت خواهد بود. بنابراین اگر خطایی در فاصله بین دو C.T دو ناحیه مختلف اتفاق افتد، آن خطا توسط سیستم حفاظتی برطرف نخواهد شد. شکل (۳ـ۱) و (۴ـ۱) به ترتیب قرار گرفتن ناصحیح و صحیح C.Tها را نشان دهد.



شکل (۳ـ۱): حفاظت نوع واحد و شکل قرارگرفتن ناصحیح C.Tها

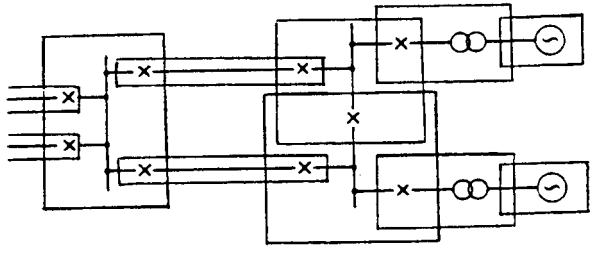
1. *Current Transformor*

PowerEn.ir
POWEREN.IR



شکل (۴ـ۱): حفاظت نوع واحد و شکل قرارگرفتن صحیح *C.T*ها و رویهم قرار گرفتن نواحی حفاظتی

در شکل (۵ـ۱) چگونگی قرارگرفتن نواحی حفاظتی برای شبکه دارای چندین شینه و خطوط را نشان می‌دهد.[۲]



شکل (۵ـ۱): رویهم قرارگرفتن نواحی حفاظتی در یک شبکه نسبتاً بزرگتر

POWEREN.IR

مراجع

1. Electricity Council, "Power System Protection", London: Macdonald, vol.2, 1982.

2. GEC Measurment, "Protective Relay Application Guide", The General Electric Company, of England, 1995.

3. A.E.Guile,W. Paterson, "Electrical Power Systems", Edinburgh: Oliver & Boyd, vol.1, 1972.

4. Siemens, "Electrical Installation Hand Book", 1987.

5. Westinghouse Electric Corporation: "Applied Protective Relaying", McGraw Hill, 1987.

PowerEn.ir
POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

PowerEn.ir

فصل دوم

حفاظت جریان زیاد و زمین

مقدمه

همانطور که در فصل اول گفته شد، رله‌های حفاظتی به منظور جلوگیری از وارد آمدن خسارت به دستگاهها و تجهیزات قدرت بکار می‌روند.

رله‌های جریان زیاد براساس تشخیص جریان بیشتر از مقدار تنظیمی کار می‌کنند. به عبارت دیگر در این نوع رله‌ها چنانچه خطای ناخواسته و یا اتصال کوتاهی در ناحیهٔ حفاظت شده به وسیلهٔ رله رخ دهد و جریان بیشتر از مقدار نامی و تنظیمی رله از آن عبور کند، فرمان قطع کلید به منظور جدا نمودن قسمت دچار خطا شده صادر می‌گردد.

رله‌های جریان زیاد دارای انواع مختلفی هستند که در این فصل بدانها پرداخته خواهد شد.

۱-۲- اصول ساختمانی رله‌های حفاظتی

رله‌ها در ولتاژ و جریان بالا کار نمی‌کنند و ولتاژ و جریان ناشی از اتصال کوتاه توسط وسایلی مانند ترانسفورماتور ولتاژ[1] (P.T) و جریان[2] (C.T) تبدیل به مقدار کمتری می‌شوند و رله‌ها با آن ولتاژ و

POWEREN.IR

1- Potential Transformer

2- Current Transformer

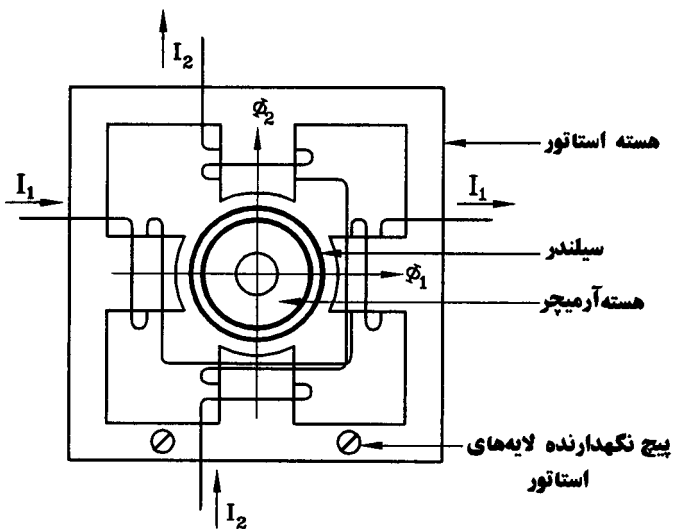
جریان کم کار می‌کنند. به لحاظ نوع حفاظت لازم است از C.Tها یا P.Tها یـا تـرکیبی از این دو استفاده شود. در اینجا به اصول ساختمانی انواع رله‌ها که طبیعتاً رله جریان زیاد نیز جزو آنهاست پرداخته می‌شود.

POWEREN.IR
Poweren.ir

به لحاظ ساختمانی، رله‌ها به سه دسته الکترومکانیکی، استاتیکی و میکروپروسسوری تقسیم می‌شوند:

۱-۱-۲- رله‌های الکترومکانیکی

در اینجا عملکرد سیستم مانند یک موتور، بر اساس حرکت میدان مغناطیسی (سیم پیچ) یا هسته در میدان الکتریکی دیگر و گردش یک آرمیچر استوار است. بدین معنا که حرکت موتور سبب باز و یا بسته شدن یک کنتاکتور شده و عملکرد کنتاکتور موجب قطع و وصل کلیدهای واسطه و نهایتاً قطع مدار قدرت می‌شود. نمونه‌ای از یک رله الکترومکانیکی در شکل (۱ـ۲) آورده شده است [۷].



شکل (۱-۲): نمونه ای از یک رله الکترومکانیکی

در رله‌های الکترومکانیکی، گشتاور از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$T=k\,\Phi_1\,\Phi_2\sin\alpha \qquad (۱-۲)$$

در رابطه (۱-۲) Φ_1 و Φ_2 شار الکتریکی مؤثر حاصل از سیم پیچی‌ها بوده و α زاویه بین Φ_1 و Φ_2

است و T گشتاور مؤثر و k ضریب ثابت است.

همانگونه که ملاحظه می‌شود هر چه مقدار شار Φ_2 یا Φ_1 بیشتر شود، گشتاور گرداننده بیشتر سرعت عملکرد رله بیشتر خواهد بود و رله در زمان کوتاهتری جریان را قطع می‌کند.

PowerEn.ir

۲-۱-۲- رله‌های استاتیکی

اساس این نوع رله‌ها بر تجهیزات ثابت ترانزیستوری و تقویت کننده‌های عملیاتی استوار است. در خروجی مدار استاتیکی، یک پالس تولید شده و بسته به نوع پالس خروجی، فرمان قطع به کلید فرمان صادر می‌شود. به منظور بررسی این تجهیزات به نحوه عملکرد تقویت کننده عملیاتی و قابلیت‌هایی که انواع ترکیبهای آن می‌تواند داشته باشد پرداخته شده و نهایتاً ساختمان یک نمونه از رله استاتیکی شرح داده می‌شود [۴].

الف - تقویت کننده عملیاتی ایده‌آل[1]

مشخصات یک تقویت کننده عملیاتی ایده‌آل در شکل (۲-۲) آمده است؛ از این تقویت کننده و خاصیت‌هایی که از آن مشتق می‌شود می‌توان برای ساخت رله‌های استاتیکی استفاده کرد. برخی از خواص مورد استفاده در اینجا شرح داده می‌شود.

ب - خاصیت تقویت کنندگی

به منظور استفاده از تقویت کننده عملیاتی در عمل تقویت ولتاژ، از ترکیبی که در شکل (۳-۲) آورده می‌شود استفاده می‌کنیم.

در تقویت کنندهٔ فوق، رابطهٔ بین خروجی و ورودی به صورت زیر است:

$$E_o = - E_i \times \frac{R_o}{R_1} \qquad (۲-۲)$$

همانگونه که دیده می‌شود مطابق رابطه (۲-۲) ولتاژ خروجی، حاصلضرب ولتاژ ورودی در عامل $\frac{- R_o}{R_1}$ خواهد بود.

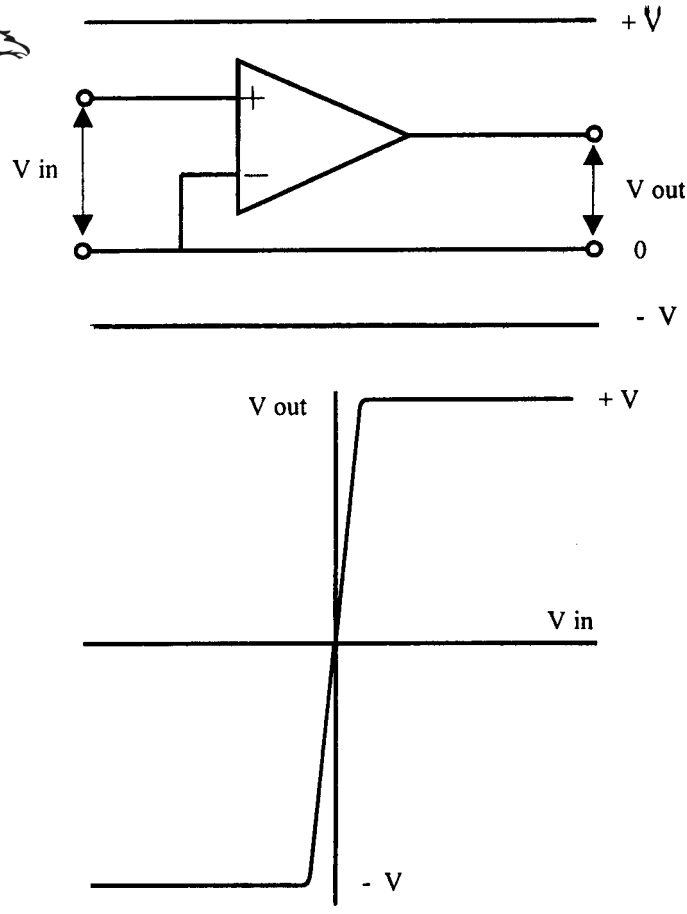
ج - خاصیت جمع کنندگی

به منظور جمع کردن دو یا چند ولتاژ ورودی با ضرایب وزنی یکسان یا متفاوت، از مدار شکل (۴-۲) استفاده می‌کنیم:

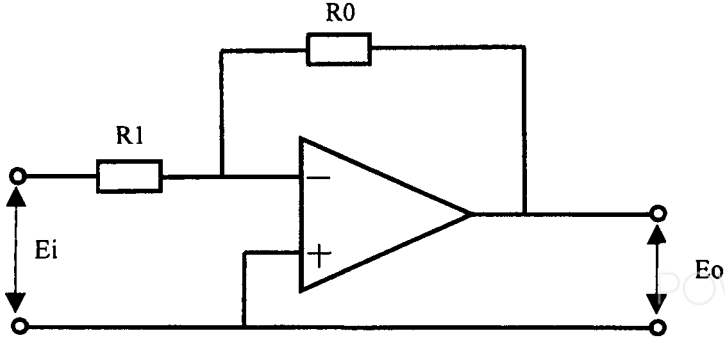
POWEREN.IR

1- Operational Amplifier (O.P.)

PowerEn.ir

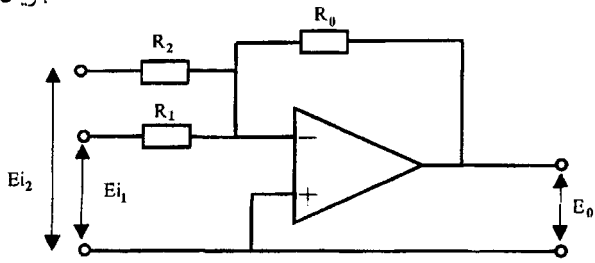


شکل (۲-۲): یک تقویت کننده عملیاتی ایده‌آل



شکل (۳-۲): خاصیت تقویت کنندگی

PowerEn.ir



شکل (۴ـ۲): خاصیت جمع کنندگی

در اینجا ولتاژ خروجی برابر است با مجموع ولتاژهای ورودی مختلف با ضرایب وزنی متفاوت $(\frac{-R_0}{R_1}, \frac{-R_0}{R_2})$.

$$E_0 = -(E_1 \times \frac{R_0}{R_1} + E_2 \times \frac{R_0}{R_2} + ...) \qquad (۲ـ۳)$$

R_0 مقاومت پس‌خور[1]، و R_1 و R_2 و... مقاومتهای ورودی هستند.

د – خاصیت انتگرال‌گیری

مدار شکل (۵–۲) بیانگر یک انتگراتور است که ولتاژ خروجی، انتگرال ولتاژ ورودی با ضریبی برابر $\frac{1}{R_1C}$ است. در این مدار R_1 مقاومت ورودی و C ظرفیت خازن فیدبک می‌باشد و خروجی از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$E_0 = \int \frac{1}{R_1C} E_1 \, dt \qquad (۲ـ۴)$$

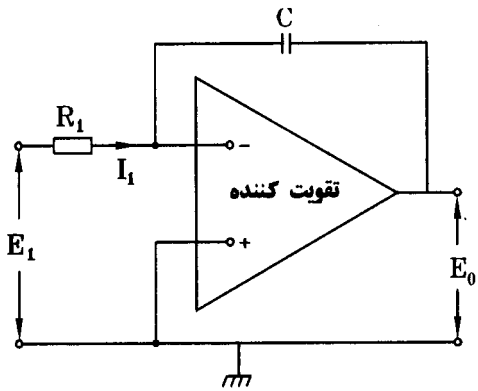
هـ – نمونه‌ای از رله استاتیکی (رله دیستانس)

یک رله استاتیکی دارای ترکیبی از خواص یاد شده در بخش قبل می‌باشد. به منظور بررسی نمونه‌ای از رله استاتیکی، مدار شکل (۶ـ۲) را در نظر می‌گیریم. رله شکل (۶ـ۲) یک رله دیستانس استاتیکی مقایسه کننده فاز می‌باشد. در فصل بعدی خواهیم گفت که دو نوع رله دیستانس وجود دارد که یک نوع آن مقایسه کننده فاز دو بردار می‌باشد. در این رله چنانچه زاویه بین دو بردار بین °۹۰– و °۹۰+ باشد رله عمل می‌کند. رله نوع مهو استفاده شده در شکل، از دو بردار V-IZ,-V استفاده می‌کند که V و I نمایانگر ولتاژ و جریان و Z امپدانس تنظیمی می‌باشد. یافتن IZ و V-IZ و همچنین بردارV- با استفاده از خواص گفته شده در بندهای الف تا د به راحتی امکان‌پذیر است. مدارهای

POWEREN.IR

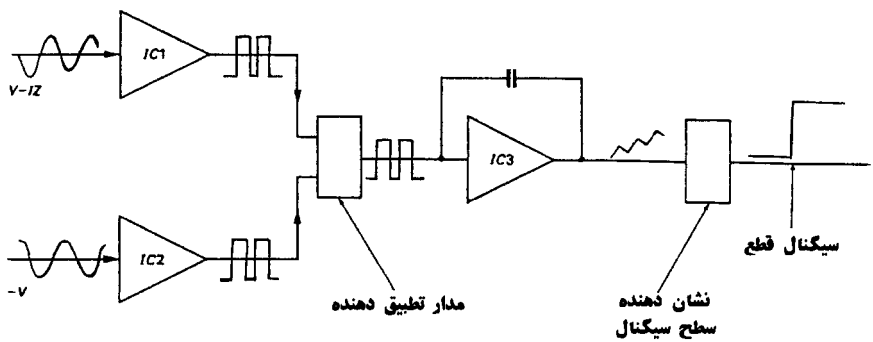
1- Feedback

الکترونیکی IC_1 و IC_2 موج سینوسی را به مربعی تبدیل می‌کنند. مدار تطبیق دهنده، همانطور که اختلاف فاز رابطه ریاضی (۳ـ۲) که خاصیت جمع کنندگی را نشان می‌دهد، بین دو مرجع فاصله ۹۰°- تا ۹۰°+ قرار گیرد، پالسی تولید خواهد کرد که مدار انتگرال‌گیر پالس‌ها (موج‌های مربعی C) را با هم جمع می‌کند و وقتی سطح خروجی انتگرال‌گیر به حد تنظیم رسید فرمان قطع توسط رله صادر می‌گردد.



شکل (۵ـ۲): خاصیت انتگرال‌گیری

قابلیت انعطاف این نوع رله‌ها با توجه به اینکه از عناصر الکترونیکی نظیر مقاومت و غیره استفاده می‌کنند در مقایسه با رله الکترومکانیکی بیشتر است. شکل (۶ـ۲) یک نمونه از رله استاتیکی دیستانس را نشان می‌دهد.



شکل (۶ـ۲): یک نمونه رله استاتیکی دیستانس

۳-۱-۲- رله‌های میکروپروسسوری

در این نوع رله‌ها، همانطور که از نام آنها برمی‌آید، از مدارهای میکروپروسسوری (مدارات مجتمع[1]) استفاده شده است. این رله‌ها با پردازش اطلاعات ورودی (جریان ولتاژ) مطابق برنامه‌ریزی انجام شده، سیگنالهای فرمان لازم را تولید می‌کنند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

قابلیت انعطاف این نوع رله نسبت به دو نوع دیگر بیشتر است. در رله نوع اول به منظور تغییر مشخصه و تغییر اثر جریان و نهایتاً مغناطیس حاصل از آن لازم است تعداد سیم پیچی را در دو قطب تغییر دهیم. رله دوم یعنی رله استاتیکی نیز بر اساس نیمه هادیها کار می‌کند. اما اساس کار رله سوم بر برنامه استوار است. زبان برنامه‌نویسی این رله‌ها زبان اسمبلی است و با زدن دکمه، برنامه‌های مختلف اجرا می‌شود.

۲-۲- انواع رله‌های جریان زیاد

رله‌های جریان زیاد بر دو نوعند:

الف) رله‌های زمان ثابت

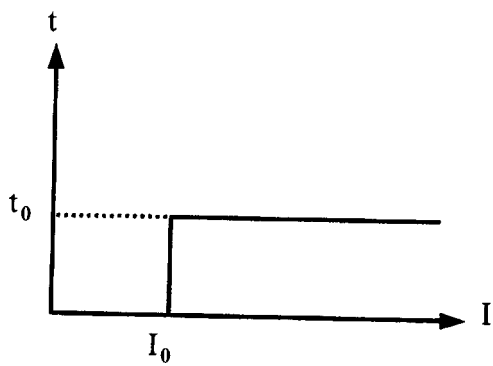
ب) رله‌های با منحنی کاهشی

۱-۲-۲- رله‌های زمان ثابت

منحنی مشخصه این رله‌ها مطابق شکل (۲ـ۷) است.

همانگونه که مشاهده می‌شود وقتی رله برای زمان ثابتی مثلاً t_0 ثانیه تنظیم شود با افزایش میزان جریان الکتریکی، رله در همان زمان معین عمل می‌کند.

هماهنگی این رله‌ها در شبکه‌های مختلف به دو صورت هماهنگی زمانی و جریانی صورت می‌گیرد[۶و۴].



شکل (۲ـ۷): منحنی مشخصهٔ رله‌های با زمان ثابت

POWEREN.IR

1- Integrated Circuit

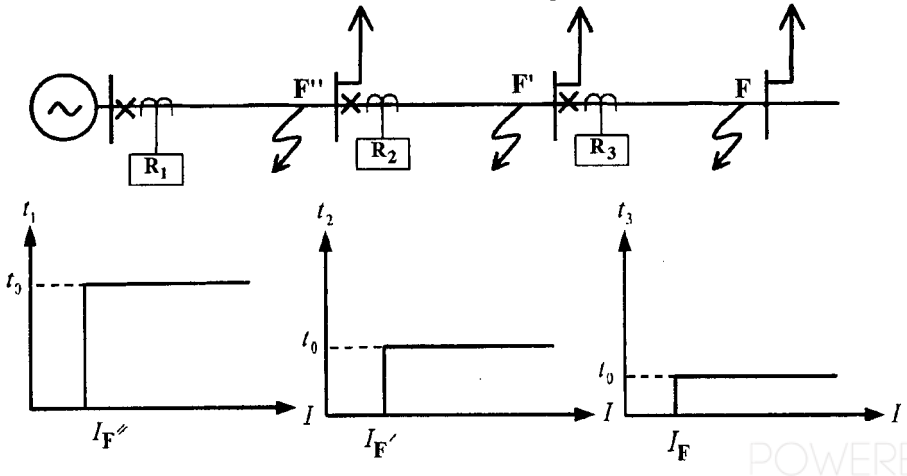
الف ـ هماهنگی زمانی

PowerEn.ir

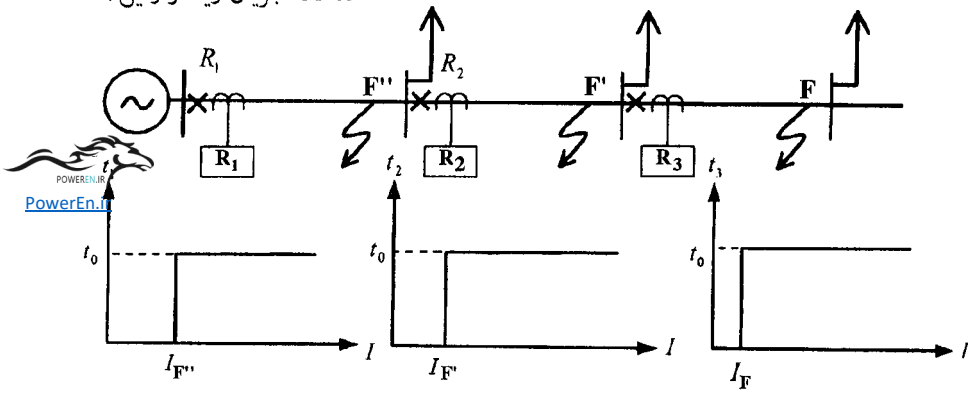
برای درک استفاده از این نوع هماهنگی در رله‌های جریان زیاد، شکل (۸-۲) را در نظر بگیرید: جریان تنظیمی رله‌ها همگی ثابت و برابر I_0 هستند. لیکن زمانهای قطع آنها متفاوت است و هر چه به طرف منبع تغذیه پیش می‌رویم، این زمان طولانی‌تر می‌شود. اشکال این نوع هماهنگی آن است، که برای خطاهای نزدیک منبع (اتصال کوتاه در F'')، رله‌ای که به محل ایجاد خطا نزدیکتر است دارای زمان عملکرد طولانی‌تری خواهد بود. این موضوع سبب می‌شود که تجهیزات شبکه دچار خسارت گردند.

ب ـ هماهنگی بوسیله جریان

شکل (۹-۲) شمای یک شبکه توزیع را نشان می‌دهد که بوسیله رله‌های جریان زیاد با زمان ثابت و هماهنگی جریانی حفاظت می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود زمانهای قطع این رله‌ها همگی با هم برابر (۰/۱ ثانیه) و جریانهای تنظیمی آنها به گونه‌ای انتخاب شده که برای رلهٔ R_1 حداکثر انتهای خط اول و برای رله R_2 جریان خطای واقع در انتهای خط دوم یعنی F' و... و برای رله R_n خطای واقع در F^n تنظیم شده است. همانگونه که دیده می‌شود. برای خطاهای نزدیک، رلهٔ R_1 فقط به اندازه t_0 (۰/۱ ثانیه) طول زمان عملکرد دارد و مشکل قبلی وجود ندارد. اما اگر خطا در ابتدای خط سوم واقع شود با توجه به خطاهای C.T و رله، امکان قطع R_2,R_3 بطور همزمان وجود دارد که این امر سبب بی‌برق شدن خط دوّم می‌شود.



شکل (۸-۲): هماهنگی رله‌های جریان زیاد با زمان ثابت توسط زمانهای مختلف (هماهنگی زمانی)



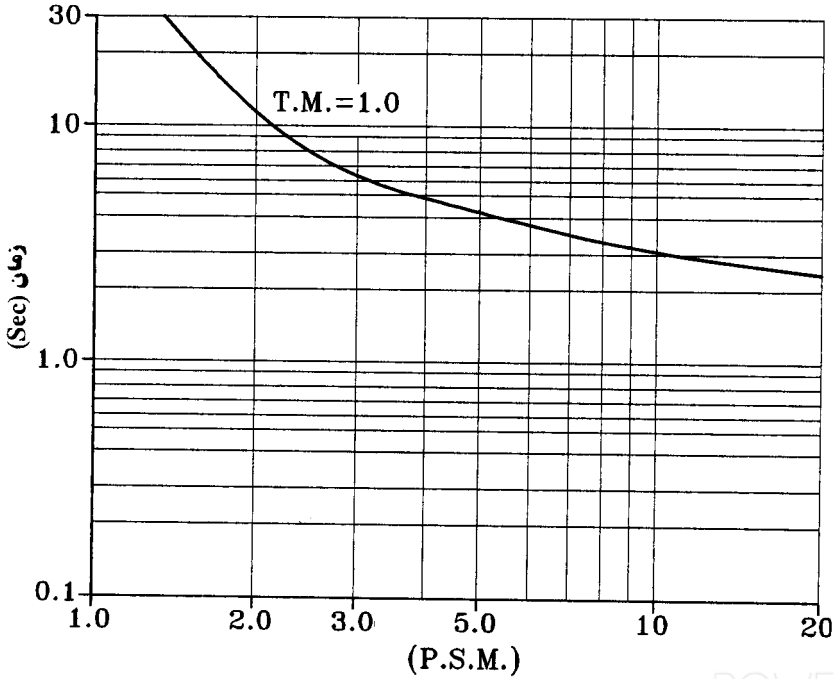
PowerEn.ir

شکل (۹-۲): هماهنگی رله‌های جریان زیاد با زمان ثابت توسط جریانهای مختلف (هماهنگی جریانی).

۲-۲-۲- رله‌های جریان زیاد با منحنی مشخصه کاهشی:

منحنی مشخصه این رله در شکل (۱۰-۲) آمده است:

از آنجاکه بکار بردن رله به هر دو صورت مذکور دارای نواقصی در هماهنگی است، لذا برای شبکه‌های پیوسته و شعاعی طولانی از رله‌های با منحنی کاهشی استفاده می‌شود.



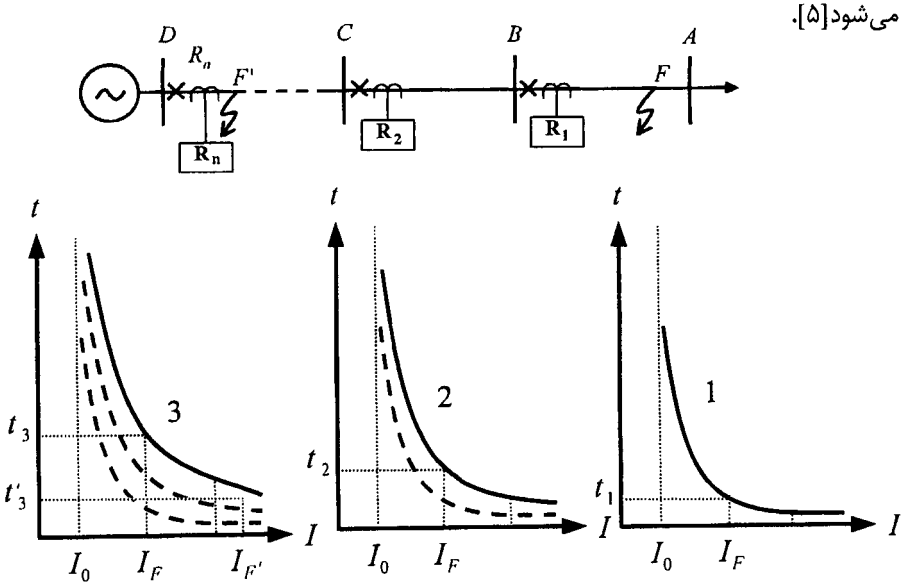
POWEREN.IR

شکل (۱۰-۲): منحنی مشخصه نمونه‌ای از رله با مشخصه کاهشی

شکل (۱۱-۲) هماهنگی شماتیکی این نوع رله‌ها را در مقایسه با رلهٔ جریان زیاد با زمان ثابت نشان می‌دهد. به منظور سهولت کار، مثال ساده‌ای از یک شبکهٔ کوچک توزیع آورده می‌شود. فرض می‌کنیم جریانهای تنظیمی همه رله‌ها یکسان و برابر I_0 باشد. با توجه به این فرض، مشخصه‌های رله‌های D,C,B در شکل نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود برای خطای F، رله R_1 در زمان t_1، رله R_2 در t_2 و به همین صورت R_n در t_n جریان را قطع می‌کند که:

$$t_n > \ldots > t_1 > t_2 \qquad (۲-۵)$$

و هماهنگی بطور کامل برقرار است. اما اگر خطای F′ رخ دهد، همانگونه که در مشخصه دیده می‌شود به علت زیاد بودن جریان $I_{F'}$، زمان قطع این رله تغییر خواهد کرد و به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت و نتیجه اینکه به علت متغیر بودن زمان با جریان، اشکال رله‌های قبلی بر طرف می‌شود[۵].



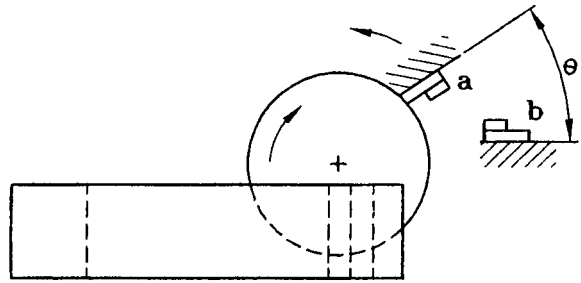
شکل (۱۱-۲): هماهنگی شماتیکی رله‌های جریان زیاد با منحنی مشخصهٔ کاهشی

۳-۲- اصول کار رله‌ها با منحنی مشخصهٔ کاهشی

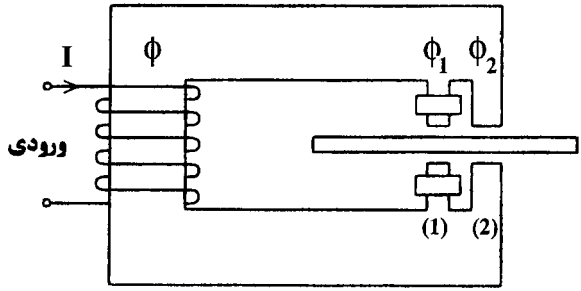
همانگونه که در قسمتهای قبل گفته شد اصول کار رله‌های الکترومکانیکی با منحنی مشخصه کاهشی بر این استوار است که وقتی جریانی از رله عبور کند گشتاور گردنده‌ای بر روی دیسک ایجاد می‌شود که به جریان عبوری از رله بستگی دارد. هر چه میزان جریان عبوری بیشتر باشد گشتاور

تولیدی بیشتر و سرعت گردش دیسک بیشتر می‌شود و در نتیجه رله سریعتر قطع می‌کند[۵و۳].

شکل (۱۲-۲)، یک رله الکترومکانیکی با منحنی مشخصه کاهشی را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود با عبور جریان الکتریکی از مدار قدرت در ثانویه C.T، جریانی متناسب با جریان الکتریکی مدار قدرت عبور می‌کند. جریان یاد شده وارد سیم‌پیچ جریان رله جریان زیاد شده و شار ϕ را متناسب با جریان الکتریکی در مدار مغناطیسی رله ایجاد می‌کند. در دو قطب (۱)و (۲)، شاری متناسب با شار اصلی ϕ تحت عناوین ϕ_2 و ϕ_1 ایجاد می‌شود. بمنظور ایجاد اختلاف فاز بین ϕ_2 و ϕ_1 یک حلقه بسته (رینگ) دور قطب (۱) قرار داده می‌شود. در رینگ بسته، جریانی که ناشی از شار آن قطب است عبور می‌کند و این جریان سبب ایجاد شار دیگری می‌شود که جمع شار اصلی و شار ناشی از جریان رینگ بسته، شاری برابر ϕ_1 است که با ϕ_2 دارای اختلاف فاز خواهد بود.



الف - نما از بالا



ب - نما از بغل

شکل (۱۲-۲): شمای ساختمانی رله‌های جریان زیاد با منحنی مشخصه کاهشی
الف - نمای از بالا ب - نمای از کنار

گشتاور تولیدی در این رله از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$T=k\,\Phi_1\,\Phi_2\,\sin\alpha \qquad (۲-۶)$$

T: گشتاور ایجاد شده روی دیسک است.

α: عدد ثابتی است که نشان دهنده اختلاف زاویهٔ بین ϕ_2 و ϕ_1 است.

PowerEn.ir

k: ضریب ثابت است.

ϕ_2 و ϕ_1 هر دو متناسب با جریان I (جریان اتصال کوتاه) هستند. پس می‌توانیم بنویسیم:

$$T = K'I^2 \qquad (۲\text{-}۷)$$

و از طرف دیگر هرچه گشتاور بیشتر شود زمان کم می‌گردد. یعنی $t \approx \frac{A}{T}$ در نتیجه داریم:

$$t = \frac{K''}{I^2} \qquad (۲\text{-}۸)$$

در رابطه (۲ـ۸)، t زمان عملکرد و I جریان عبوری از رله است.

در ذیل به انواع و کارکرد و هماهنگی این رله‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱ انواع رله‌های با منحنی مشخصه کاهشی [۸و۴]

- رله‌های با منحنی مشخصه کاهشی معمولی
- رله‌های با منحنی مشخصه خیلی کاهشی
- رله‌های با منحنی مشخصه شدیداً کاهشی

معادله مشخصه بر اساس استانداردهای IEC و BS بصورت زیر برای انواع رله‌ها در نظر گرفته می‌شوند.

$$t = \frac{K}{(I/I_b)^n - 1} \qquad (۲\text{-}۹)$$

n,k بسته به نوع رله متفاوت است؛ برای رله‌های با منحنی مشخصه کاهشی معمولی $k=۰/۱۴$ و $n=۰/۰۲$ و برای رله‌های با منحنی مشخصه خیلی کاهشی $k=۱۳/۵$, $n=۱$ و ضرایب مربوط به رله‌های با منحنی مشخصه شدیداً کاهشی $k=۸۰$, $n=۲$ هستند.

اگر ضریب تنظیم جریانی ۲۰۰٪، و نسبت تبدیل C.T برابر $\frac{۱۰۰۰}{۵}$ باشد، آنگاه تنظیم جریان I_b نسبت به اولیه:

$$\frac{۲۰۰}{۱۰۰} \times ۱۰۰۰ = ۲۰۰۰$$

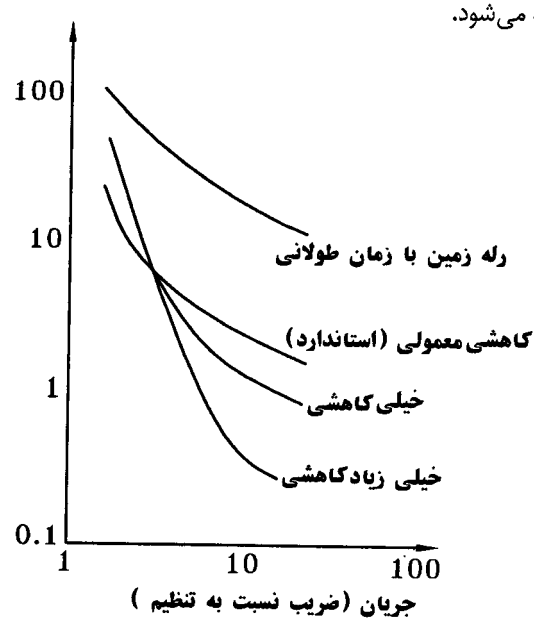
خواهد بود. مدلی که استانداردهای IEC و BS پیشنهاد کرده‌اند، در جریانهای خیلی کم و خیلی زیاد، دقت خوبی ندارد. در بخش بعدی مدلهای دقیق‌تر رله‌ها معرفی خواهند شد.

POWEREN.IR

اگر خط مورد حفاظت دارای امپدانسی باشد که در مقایسه با ژنراتور و یا نیروگاه قابل ملاحظه باشد، با افزایش فاصله، جریان خطا به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

رله‌های با منحنی خیلی کاهشی برای این نوع شبکه یعنی شبکه‌هایی که جریان خطا با افزایش فاصله بین محل خطا و تغذیه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد استفاده می‌شوند. علت این مسئله آن است که برای شکل (۱۴-۲) اگر امپدانس خط AB در مقایسه با منبع زیاد باشد، برای خطا در نقطه F جریان اتصال کوتاه زیادتر و در نتیجه زمان قطع باید کوتاهتر باشد، به همین خاطر از رله‌های با منحنی خیلی کاهشی استفاده می‌کنیم.

همانطور که در شکل (۱۳-۲) دیده می‌شود در رله‌های با منحنی شدیداً کاهشی، جریان I_b (جریان راه اندازی) از رله‌های معمولی و خیلی کاهشی بزرگتر است. و در رله‌های با منحنی شدیداً کاهشی، زمان عملکرد از هر دو نوع دیگر رله‌های کاهشی کمتر است. به همین خاطر این رله‌ها برای حفاظت موتورها به کار می‌روند. جریان راه‌اندازی موتورها که چند برابر جریان نامی است نبایستی سبب عملکرد رله بشود. کاربرد دیگر این رله‌ها در شبکه‌هایی است که فیوزهای فشار قوی در آنها بکار رفته است. به عبارت دیگر در شبکه‌های توزیع که از فیوزها برای حفاظت بخشی از شبکه استفاده شده است و یا در بخشی دیگر از همان شبکه و یا شبکه‌های با سطح ولتاژ دیگر ولی مرتبط با شبکه اول، از حفاظت رله‌ای استفاده می‌کنیم. برای حفاظت شبکه از خطاها، رله‌هایی با منحنی شدیداً کاهشی توصیه می‌شود.



شکل (۱۳-۲): مقایسه مشخصه رله‌های کاهشی، خیلی کاهشی و شدیداً کاهشی

POWEREN.IR

PowerEn.ir

شکل (۲-۱۴): نمونه‌ای از یک شبکه که امپدانس خط در مقایسه با منبع زیاد است

۲-۳-۲- مدل‌های چند جمله‌ای باجاج [1] و اسمولک [2]

این مدل‌ها برای اولین بار توسط اسمولک و باجاج مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مدل باجاج جریان بر حسب چند جمله‌ای درجه n از زمان، طبق فرمول زیر بیان گردیده است [۱۱و۱]:

$$I = a_0 + a_1 t + a_2 t_2 + \ldots + a_n t^n \qquad (۲\text{-}۱۰)$$

در حالیکه در مدل اسمولک زمان بر حسب چند جمله‌ای درجهٔ n از جریان، بیان گردیده است:

$$t = a_0 + a_1 I + \ldots + a_n I^n \qquad (۲\text{-}۱۱)$$

در این مدل‌ها نیز با استفاده از تکنیک برازش منحنی، به روش مینیمم سازی خطا از تعدادی نقطه برای یافتن ضرایب a_1 تا a_0 در معادلات فوق استفاده می‌شود. معمولاً این عمل منجر به حل یک دستگاه معادلات خطی می‌شود که a_0 تا a_n مجهولات دستگاه می‌باشند. ماتریس ضرایب این دستگاه معمولاً بد رفتار بوده و دترمینان آن بسیار نزدیک صفر می‌شود لذا در محاسبات کامپیوتری با توجه به خطاهای برشی، ممکن است نتایج کم دقت یا نادرستی بدست آید. برای غلبه بر این مشکل می‌توان اولاً از متغیرهای با دقت بالا در کامپیوتر استفاده کرد و ثانیاً برای بالا بردن دقت از تعداد نقاط بیشتری برای برازش منحنی‌های فوق استفاده کرد.

در این معادلات معمولاً می‌خواهیم با مشخص بودن مقدار I، زمان عملکرد رله را بدست آوریم؛ با توجه به فرم معادلات فوق به سادگی می‌توان دریافت که استفاده از مدل اسمولک برای محاسبهٔ زمان عملکرد رله از روی جریان عبوری آن بسیار راحت‌تر از مدل باجاج می‌باشد. با توجه به مشابه بودن دو مدل فوق از نقطه نظر دقت در برازش منحنی رله، مدل اسمولک بدلیل راحتی محاسبات

POWEREN.IR

1- Bajaj 2- Smolleck

ترجیح داده می‌شود. در این مدل نیز نقاط انتخاب شده از منحنی رله باید در محدودهٔ جریان مینیمم تا ماکزیمم رله باشند و این محدوده را کاملاً بپوشانند.

PowerEn.ir

۳-۳-۲- مدل پیشنهادی رادکه[1]:

در این مدل بر خلاف مدل‌های قبل، منحنی زمان - جریان رله در مختصات لگاریتمی، مدل می‌شود یعنی مقادیر Log t, Log I در معادلهٔ منحنی مشخصه رله ظاهر می‌شود[۹].

$$\text{Log}\left(\frac{t}{TSM}\right)=k+A_1(\text{Log I})+A_2(\text{Log I})^3+A_4(\text{LogI})^4 \qquad (۲-۱۲)$$

در این مدل نیز با داشتن مقدار جریان اتصال کوتاه به راحتی می‌توان مقدار زمان عملکرد رله را بدست آورد. همانطور که ملاحظه می‌شود در این رابطه زمان عملکرد رله با TSM ضریب تنظیم زمانی[2] رله رابطه‌ای خطی دارد. دقت این مدل برای زمان‌های عملکرد کوچک کم می‌باشد ولی برای زمان‌های عملکرد بالا نسبتاً خوب است. خطی بودن زمان عملکرد رله نسبت به پارامتر TSM رله، مسئله‌ای مفید است که می‌تواند این مدل را برای استفاده در هماهنگی بهینهٔ رله‌های جریان زیاد مناسب سازد ولی تفاوت دقت آن برای زمان‌های کوچک و بزرگ مسئله‌ای است که بکار بردن این مدل را با تردید روبرو می‌سازد.

۴-۳-۲- مدل پیشنهادی ساچدو[3]

در مدل قبلی دو اشکال اساسی وجود دارد:

الف - به ازای PSM=۱، (ضریب تنظیم جریانی)[4] باید زمان معادلات به بی‌نهایت میل کند در حالیکه در مدل رادکه به ازای PSM=۰ این امر رخ می‌دهد.

ب - منحنی حاصل از معادلات به ازای PSMهای بزرگتر از مقادیر بکار رفته در برازش منحنی‌ها، انحراف زیادی از منحنی واقعی پیدا می‌کند.

لذا به گفتهٔ ساچدو یک مدل مناسب برای رله‌ها باید دارای شرایط زیر باشد[۲]:

۱- منحنی برازش شده نسبت به منحنی مشخصهٔ واقعی رله بایستی دارای خطای کوچکی باشد.

۲- منحنی بدست آمده توسط معادلهٔ ریاضی به ازای PSM=۱ بایستی به سمت بی‌نهایت میل کند.

1- Radke

2- Time Setting Multiply

3- Sachdev

4- Plug Setting Multiply

POWEREN.IR

۳- منحنی برازش شده بایستی برای حداقل جریان عملکرد رله تا مقادیر بزرگ *PSM*، مشابه منحنی واقعی رله باشد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

۴- معادلهٔ ریاضی دارای شکل ساده‌ای باشد و محاسبات آن به سادگی قابل انجام باشد.

ایشان پس از بررسی‌های لازم با توجه به موارد فوق، مدل زیر را پیشنهاد کرده است:

$$\frac{t}{TSM}=a_0+\frac{a_1}{Log\ I}+\frac{a_2}{(Log\ I)^2}+... \qquad (۲-۱۳)$$

چون محاسبات لگاریتم و آنتی لگاریتم در کامپیوتر وقت زیادی نسبت به محاسبات ضرب و تقسیم معمولی می‌گیرد، بنابراین برای سادگی انجام این کار مدل فوق به مدل زیر اصلاح شده است:

$$\frac{t}{TSM}=a_0+\frac{a_1}{(I-1)}+\frac{a_2}{(I-1)^2}+... \qquad (۲-۱۴)$$

در رابطهٔ فوق t یعنی زمان عملکرد رله نسبت به TSM، رابطه‌اش خطی فرض شده است. این امر با توجه به برازش منحنی مشخصهٔ رله با TSM ثابت انجام شده و یا برازش به ازای متوسط تمام منحنی مشخصه‌ها انجام شده است.

مدل دیگری که ساچدو ارایه کرده است نسبت به TSM هم غیر خطی می‌باشد بطوری که به ازای جریان‌های ثابت، رابطه‌ای چند جمله‌ای از TSM خواهیم داشت که بصورت زیر است:

$$t= C_1 + C_2\,(TSM) + C_3\frac{TSM}{(I-1)^2} + C_4\frac{(TSM)^2}{(I-1)} + C_5\frac{(TSM)^2}{(I-1)^2} + C_6\frac{TSM}{(I-1)^3} + C_7\frac{(TSM)^2}{(I-1)^4} \qquad (۲-۱۵)$$

۲-۳-۵- مدل ضرب دو چند جمله‌ای زمان و جریان ساچدو

در این مدل زمان عملکرد رله بصورت حاصل ضرب دو چند جمله‌ای بر حسب زمان و جریان بصورت زیر بیان شده است:

$$t=P(TSM)\times P(I) \qquad (۲-۱۶)$$

P(TSM) عبارت است از چند جمله‌ای بر حسب TSM

P(I) عبارت است از چند جمله‌ای بر حسب I

$$P(TSM) = b_0 + b_1TSM + b_2(TSM)^2 + b_3(TSM)^3 +.... \qquad (۲-۱۷)$$

$$P(I) = a_0 + \frac{a_1}{I-1} + \frac{a_2}{(I-1)^2}\frac{a_3}{(I-1)^3} + ... \qquad (۲-۱۸)$$

POWEREN.IR

در این مدل برای جریان‌های ثابت، زمان عملکرد رله بصورت یک چند جمله‌ای از TSM خواهد بود که ضرایب آن به مقدار جریان اتصال کوتاه بستگی ندارد و همینطور برای TSMهای ثابت، زمان عملکرد بصورت یک چند جمله‌ای از جریان با توان‌های معکوس خواهد بود. این مدل از مدل‌های قبلی دارای دقت بهتری است ولی فرم غیر خطی دارد، فرم غیر خطی آن طوری است که می‌توان از آن برای هماهنگی بهینهٔ رله‌های جریان زیاد استفاده کرد. لذا این مدل از بین مدلهای قبلی بهترین مدل به منظور هماهنگی بهینه از نقطه نظر دقت و سادگی شکل است و دقت آن نسبت به هر دو پارامتر جریان و زمان، مناسب است.

PowerEn.ir

۶-۳-۲- تنظیم‌های جریانی و زمانی [۱۴و۱۳]

الف- تنظیم جریانی:

در تنظیم جریانی تعداد حلقه‌های سیم پیچ رله تغییر داده می‌شود. این تغییرات از ۵۰ درصد تا ۲۰۰ درصد در گامهای ۲۵ درصدی صورت می‌گیرد. اعداد ذکر شده مربوط به رله‌های جریان زیاد فازی است. برای رله‌های زمین این تنظیم از ۱۰ تا ۴۰ درصد در گامهای ۱۰ درصد و از ۲۰ تا ۸۰ درصد در گامهای ۲۰ درصدی انجام می‌شود.

هر چه درصد تنظیم بالاتر باشد، به جریان بالاتری نیاز است. زیرا در این حالت تعداد حلقه‌ها کمتر می‌باشد، لذا برای ایجاد شار آستانه حرکت (تنظیم) باتعداد حلقه کمتر، به جریان بیشتری نیاز است.

رابطه جریان تنظیمی رله نسبت به اولیه برابر است با:

$$RSI = \frac{P.S \times C.T}{۱۰۰} \qquad (۲-۱۹)$$

P.S ضریب تنظیم جریانی[1]، C.T جریان اولیه C.T و RSI تنظیم ورودی رله[2] به صورت زیر است:

$$RSI = ۱/۳ \times I_{Lmax}$$

از آنجا که غالباً در اتصال فاز به زمین جریان کمی خواهیم داشت، جریان تنظیمی هم از مقدار نامی کمتر خواهد بود. ضمن اینکه در مکانیزم اتصال زمین هر جریانی نباید قطع گردد.

ب - تنظیم زمانی:

با دور یا نزدیک کردن کنتاکت متحرک به کنتاکت ثابت مطابق شکل (۱۲-۲)، می‌توان رله را به لحاظ زمانی تنظیم نمود. بالاترین ضریب تنظیم زمانی ۱ و کمترین آن ۰/۱ است. پارامتر فاصله

POWEREN.IR

1- Plug Setting

2- Relay Setting Input

توسط همین ضریب در محاسبات تنظیم وارد می‌شود. ضریب تنظیم زمانی در گسترهٔ ۰ تا ۱ با گامهای ۰/۱ انتخاب می‌شود. گاهی طول این گامها ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

مقدار TSM باید در معادله منحنی مشخصه رله‌های معمولی خیلی کاهشی و شدیداً کاهشی دخالت داده شود. به عبارت دیگر معادله (۹ـ۲) به صورت (۲۰ـ۲) اصلاح می‌گردد.

$$t = \frac{K}{(I^n - ۱)} \times TSM \qquad (۲ـ۲۰)$$

رله‌های با منحنی مشخصه معکوس فازی برای قطع اتصال کوتاه فاز – فاز و رله‌های زمین مربوط به خطاهای فاز – زمین است.

ج – فاصله لازم برای هماهنگی:

برای هماهنگی یک رله پشتیبان غیرواحد با یک رله اصلی در بخشی از شبکه قدرت لازم است فاصله زمانی حداقل بین زمانهای عملکرد رله‌های پشتیبان و اصلی وجود داشته باشد. این زمان حدود ۰/۳ تا ۰/۵ ثانیه است. فاصله زمانی یاد شده متعلق به چند عامل است که ذیلاً آورده می‌شود.

۱ـ خطای مربوط به ترانسفورماتور جریان و منحنی مشخصه رله (t_{Rct}):

این خطا حدود ۰/۱۵ ثانیه است یعنی برای هریک از ترانسفورماتورها و رله‌های اصلی و پشتیبان مقدار ۰/۰۷۵ در نظر گرفته می‌شود.

۲ـ زمان عملکرد کلید اصلی (t_{CB}):

این زمان حدود ۰/۱ ثانیه منظور می‌گردد. این زمان بدین علت در نظر گرفته می‌شود که هنگام شروع عملکرد رله پشتیبان، بایستی اطمینان حاصل آید که رله اصلی فرمان داده است و کلید اصلی به عللی نتوانسته است جریان را قطع نماید.

۳ـ زمان عملکرد رله پس از برداشتن خطا[1] (t_{os}):

این زمان مربوط به وقتی است که خطایی گذرا در خط اصلی اتفاق افتاده و جریان قطع شده است. لیکن رله اصلی به واسطهٔ شتابی که ابتدا داشته مدتی به حرکت خود ادامه داده است. این زمان حدود ۰/۰۵ ثانیه منظور می‌شود.

۴ـ زمان اطمینان (t_{saf}) :

همانطور که از نامش پیداست زمان اطمینان، مربوط به سایر عوامل ناخواسته است و حدود ۰/۱ ثانیه

POWEREN.IR

1- overshoot

در نظر گرفته می‌شود.

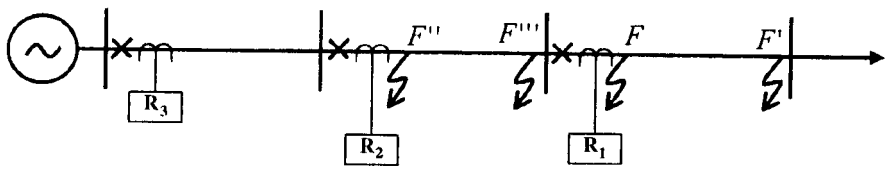
زمان هماهنگی $DT = t_{Rel} + t_{CB} + t_{os} + t_{saf}$

POWEREN.IR

می‌خواهیم رله R_2 را نسبت به رله R_1 در شکل (۱۵ـ۲) هماهنگ کنیم. به عبارتی می‌خواهیم منحنی مشخصه R_2 را با داشتن منحنی R_1 انتخاب کنیم.

در شکل (۱۵ـ۲)، جریان در F' کمتر از F است. بنابراین برای بررسی هماهنگی، جریان در نقطهٔ F مناسبتر به نظر می‌رسد، چراکه در جریانهای زیاد منحنی مشخصه رله‌های کاهشی به هم نزدیک می‌شود. لذا اگر دو رله برای جریانهای زیادتر هماهنگ باشند، برای جریانهای کمتر به ترتیب اولی هماهنگ خواهند بود.

بنابراین برای هماهنگی رله پشتیبان رله اصلی، محل خطا باید در جلوی رله اصلی باشد. به عبارت دیگر برای هماهنگی رله R_1 و R_2، اتصال کوتاه را در F قرار می‌دهیم نه در F'. بر اساس همین قاعده برای هماهنگی رله R_3 و R_2 اتصال کوتاه باید در F'' قرار گیرد نه در F''' به کمک شکل (۱۵ـ۲) دلیل مطلب ذکر شده تشریح می‌شود. همانگونه که دیده می‌شود اگر اتصال کوتاه در F' باشد و بخواهیم R_2 را با R_1 هماهنگ کنیم، حاصل، منحنی (۱۶ـ۲) خواهد بود که بدیهی است برای اتصال کوتاه در F، فاصله دو منحنی ۱ و ۲ خیلی از هم کم می‌شود (خیلی کمتر از ۰/۴ ثانیه یعنی کمتر از فاصله زمانی هماهنگی) و با توجه به محل خطاها احتمال عمل کردن رله R_2 قبل از رله R_1 وجود دارد[۷].



شکل (۱۵ـ۲): نمایش رله‌های پشتیبان و اصلی برای هماهنگی

۴-۲- رله‌های جریان زیاد و زمین همراه با سایر رله‌ها

۱-۴-۲- رله جریان زیاد همراه با عنصر سریع[۴]:

شکل (۱۷ـ۲) شمای ساختمانی یک رله جریان زیاد همراه با عنصر سریع را نشان می‌دهد:

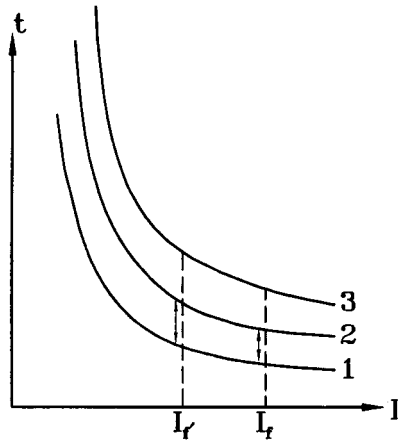
همانطور که در شکل دیده می‌شود چنانچه جریان از یک حدی بیشتر شود عنصر سریع شروع به حرکت می‌کند. با حرکت عنصر سریع بدون فوت وقت رله قطع می‌شود و پس از آن مشخصه زمان

POWEREN.IR

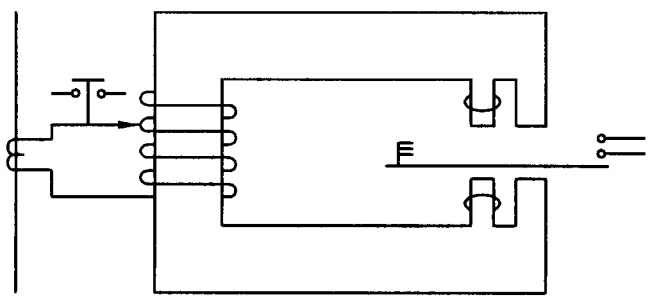
عملکرد با منحنی معکوس فاقد کارایی است.

POWEREN.IR

در شکل (۱۸ـ۲)، اگر اتصالی در F رخ دهد، جریان چندان زیاد نیست و زمان قطع t_f کوتاه است. اما زمان t_f' برای جریان بالای خطا در F'، طولانی می‌باشد. به همین خاطر رله جریان زیاد با منحنی مشخصه کاهشی را با عنصر سریع همراه می‌کنند تا برای جریانهای بزرگتر از $I_S=I_{HS}$ رله سریعاً عمل کند[۱۲].



شکل (۱۶ـ۲): هماهنگی رله R_2 با R_1 وقتی که خطا در F' باشد (هماهنگی غیر صحیح)

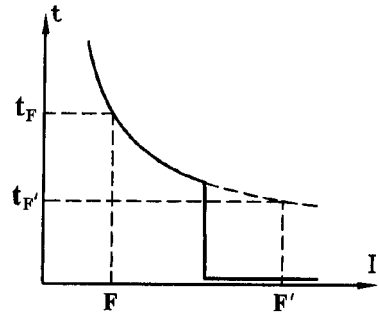


شکل (۱۷ـ۲): شمای ساختمانی رله جریان زیاد با عنصر سریع

سؤالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که چنانچه در شبکه‌های قدرت به جای رله‌های جریان زیاد کاهشی، از رله‌های کاهشی با عنصر سریع استفاده شود، آیا محل اتصال کوتاه برای هماهنگی، همان نقطه قبلی یعنی درست جلو کلید خواهد بود؟

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۱۸ـ۲): منحنی مشخصه رله جریان زیاد کاهشی با عنصر سریع

برای پاسخ به این سؤال شکل (۱۹ـ۲) را در نظر بگیرید[۴]:

در شکل (۱۹ـ۲) تنظیم‌های عناصر سریع رله‌های R_1 و R_2 و R_3 عبارتند از ۳۰۰۰ آمپر، ۱۴۰۰ آمپر و ۵۰۰ آمپر در حالی که برای خطای جلو R_2 جریان عملکرد ۲۳۰۰ آمپر و خطا جلو R_3، ۱۱۰۰ آمپر است.

همانگونه که قبلاً گفته شد اگر در شبکه (۱۹ـ۲) رله جریان زیاد کاهشی را به کار می‌گرفتیم باید برای هماهنگی R_2 و R_3 از جریان اتصال کوتاه متناظر یعنی ۱۱۰۰A و برای هماهنگی R_2 و R_1 از جریان خطای ۲۳۰۰A استفاده می‌کردیم. ولی با توجه به آنچه در ابتدا بخش ۱ـ۴ـ۲ گفته شد هماهنگی بین R_2 و R_3 برای خطای ۱۱۰۰ آمپر با وجود عنصر سریع فاقد معنی است.

لذا برای هماهنگی عنصر کاهشی رله R_2 با عنصر کاهشی رله R_3 لازم است خطا در F′ (یعنی ۵۰۰ آمپر) قرار گیرد بر همین اساس جریان ۲۳۰۰A برای هماهنگی رله‌های R_2 و R_1 مناسب نبوده و طبق آنچه از شکل (۱۹ـ۲) دریافتیم باید هماهنگی در جریان ۱۴۰۰A انجام شود.

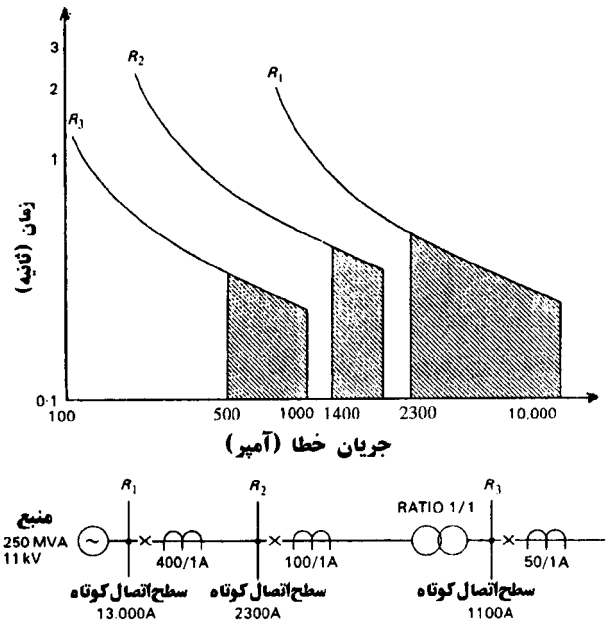
۲-۴-۲- رله‌های جریان زیاد همراه با عنصر جهت دار

الف - لزوم استفاده از عنصر جهت‌دار[۳و۴]:

در شروع این مبحث باید لزوم و موارد استفاده از رله‌های یا مشخصه جهت دار با عنصر جهت دار را مشخص نماییم.

در شبکه‌های شعاعی با تغذیه یک سویه، چون شبکه تنها از یک طرف تغذیه می‌شود، نیازی به ۸رله‌های جهت دار نیست.

PowerEn.ir



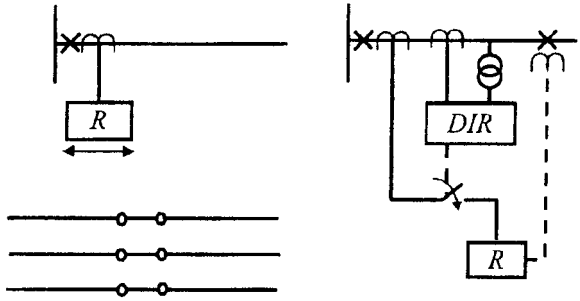
شکل (۱۹ـ۲): تنظیم و هماهنگی رله پشتیبان و اصلی رله‌های کاهشی با عنصر سریع در بخشی از یک شبکه

به منظور بررسی عملکرد یک رله جریان زیاد جهت دار، شکل (۲۰ـ۲) را در نظر می‌گیریم؛ در این شکل مجموعه حفاظتی جریان زیاد جهت‌دار (رله جهت دار) از دو رله تشکیل شده که رله اول، رله جهت یاب نامیده می‌شود، که جهت قدرت منبع را نشان می‌دهد. این رله توسط ترانسفورماتور ولتاژ و جریان تغذیه می‌شود. پس از تشخیص خطا توسط این رله، رله جریان زیاد می‌تواند عمل کند. بنابراین قیمت این رله (رله جریان زیاد جهت‌دار) از رلهٔ جریان زیاد معمولی بیشتر است زیرا این رله شامل دو رله می‌باشد که یکی رله عنصر جهت‌دار و دیگری رله جریان زیاد معمولی است.

برای شبکه‌های از دو سو و چند سو تغذیه لازم است از رله‌های جهت‌دار استفاده شود. برای روشن شدن مطلب شکل (۲۱ـ۲) را در نظر می‌گیریم.

در این شکل با فرض اینکه رله‌ها غیر جهت دار هستند، برای عملکرد صحیح بازاء خطای F، باید رله‌های R_2 و R_5 با R_1 و رله‌های R_4 و R_6 با R_3 هماهنگ باشند. پس باید بازاء جریانهای اتصال کوتاه یکسان، R_2وR_5 دیرتر از R_1 و R_4 وR_6 دیرتر از R_3 قطع کنند.

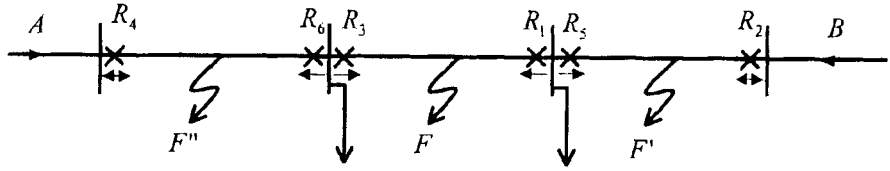
PowerEn.ir



شکل (۲۰ـ۲): مکانیزم عملکرد رله‌های جریان زیاد جهت دار

حال فرض می‌کنیم که خطایی در F′ رخ دهد و رله‌ها از نوع غیر جهت دار باشند. در اینصورت براساس اصول هماهنگی که برای خطای F بحث شد باید ابتدا رله‌های R_2 و R_5 عمل کنند. یعنی R_2 و R_5 زودتر از R_1 عمل نماید. اما این بر خلاف مطلبی است که در بالا برای خطای جلو R_1 ذکر شد. به عبارت دیگر برای یک جریان یکسان، یک رله نمی‌تواند یکبار دیرتر و یکبار زودتر عمل نماید.

برای اجتناب از این مشکل، جهت رله‌ها را همانطور که در شکل (۲۱ـ۲) نشان داده شده است، در نظر می‌گیریم. در اینصورت ناهماهنگیها بر طرف می‌گردد. یعنی برای خطای F′ عنصر جهت‌دار رله R_5 اصلاً خطا را نمی‌بیند.



شکل (۲۱ـ۲) : شبکه با تغذیه دو سویه و رله‌های نصب شده روی آن

ب - چگونگی اتصال عنصر جهت یاب به رله‌های جریان زیاد

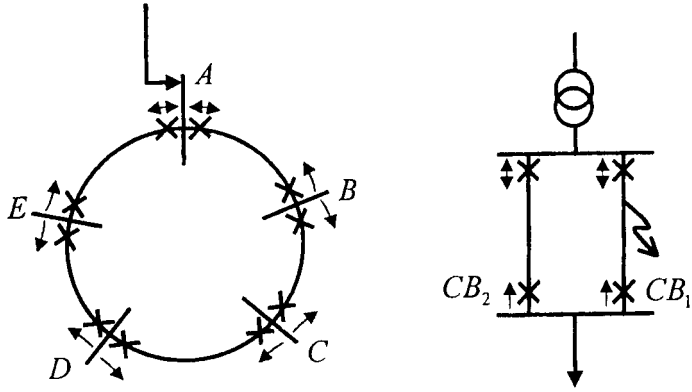
یک رله جریان زیاد با مشخصه کاهشی جهت‌دار از یک رله جریان زیاد با مشخصه کاهشی و یک عنصر جهت‌یاب تشکیل می‌شود.

عنصر جهت یاب در واقع $P=VI\cos\phi$ را اندازه می‌گیرد و بر اساس آن عمل می‌کند. ϕ در این رابطه، زاویهٔ بین دو بردار V و I است. مقدار ϕ براساس شرایط شبکه تغییر می‌کند و ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند اثرات خازنی و ... بگونه‌ای تغییر کند که مقدار $\cos\phi$ در شبکه منفی شود. به

POWEREN.IR

عبارت دیگر برای شرایطی که عنصر جهت‌دار بایستی عمل کند، فرمان قطع صادر ننماید. به علاوه اگر بردار V بر I عمود باشد، $\cos\phi$ صفر می‌شود. در چنین حالاتی رله‌ها عمل نخواهند کرد. بنابراین کار سیستم حفاظتی با اشکال مواجه خواهد شد.

POWEREN.IR
POWEREN.IR



شکل (۲۲ـ۲): شکلهای مختلفی از کاربرد رله‌های جهت دار جریان زیاد

برای روشن شدن مطلب، بخشی از یک شبکه قدرت را در نظر می‌گیریم؛ اگر ولتاژ و جریان فاز a را برای مقدار و جهت قدرت منظور کنیم، توان، برابر با $P = V_a I_a \cos\phi$ خواهد بود. حال اگر خطایی روی خط اتفاق افتاده باشد، V_a و I_a تقریباً بر هم عمود بوده و $\cos\phi$ حدود صفر می‌شود و رله عمل نمی‌کند در حالی که خطا اتفاق افتاده است. اما اگر به جای V_a، V_{bc} را در نظر بگیریم، این اشکال تا حد زیادی بر طرف می‌شود. محاسبات نشان می‌دهد که اگر به جای بردار V_{bc}، بردار $V_{bc'}$ (شیفت یافته بردار V_{bc} باندازه‌ای که به زاویه گشتاور ماکزیمم موسوم است) را بکار ببریم، نتایج بهتری بدست می‌آید. همانطور که در شکل (۲۳ـ۲) نشان داده شده است، برای بدست آوردن $V_{bc'}$ از روی V_{bc} می‌توان از مقاومت R سری شده با سیم پیچی ولتاژ رله استفاده کرد.

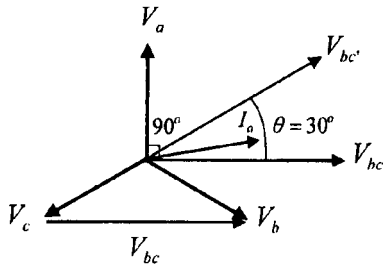
۵-۲- تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد با منحنی کاهشی

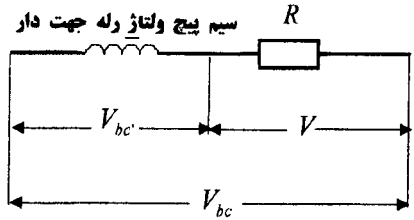
برای سهولت درک مطلب، روش و مثال را تواماً ادامه می‌دهیم[۱۰و۶و۴]:

شکل (۲۴ـ۲) مثالی برای تنظیم و هماهنگی رله‌های یک شبکه دارای تغذیه یک سویه را نشان می‌دهد. منظور از محاسبه تنظیم و هماهنگی در این شکل، یافتن PS و TSM برای رله‌های R_1 تا R_4 است.

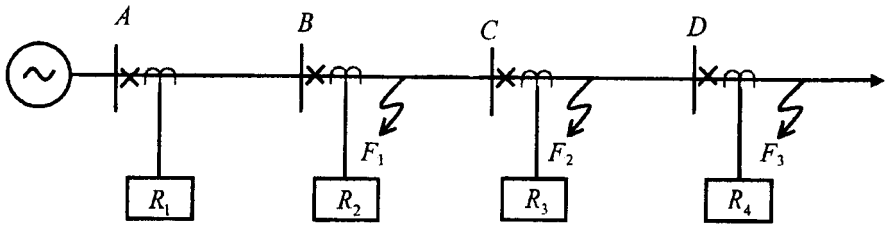
POWEREN.IR

PowerEn.ir





شکل (۲۳ـ۲): چگونگی تهیه ولتاژهای مناسب



شکل (۲۴ـ۲): مثالی برای تنظیم و هماهنگی رله‌های یک شبکه

جدول (۱-۲): اطلاعات مربوط به شکل (۲۴-۲)

	شین A	شین B	شین C	شین D
نسبت تبدیل C.T	$\frac{۴۰۰}{۵}$	$\frac{۴۰۰}{۵}$	$\frac{۲۰۰}{۵}$	$\frac{۱۰۰}{۵}$
ماکزیمم جریان بار (آمپر)	۴۰۰	۳۰۰	۱۵۰	۵۰
ماکزیمم جریان اتصال (آمپر)	۷۵۰۰	۵۰۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰

لذا برای انجام این امر ابتدا قواعد و قوانین حاکم بر تنظیم و هماهنگی رله های جریان زیاد را آورده و سپس آنها را برای شکل (۲۴ـ۲) اعمال می‌نماییم:

الف – جریان تنظیم برای رله‌های فازی نباید کمتر از جریان بار باشد (به طور معمول حداقل ۱/۲ تا ۱/۳ جریان بار).

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ب – برای آخرین رله (دورترین رله نسبت به منبع تغذیه) ضریب تنظیم زمانی را مینیمم، ۰/۰۵ تا ۰/۱ در نظر می‌گیریم.

۲ج – برای خطوط موازی و شبکه‌های حلقوی از رله‌های جهت دار استفاده می‌کنیم.

د– تنظیم رله‌های زمین را حدوداً ۰/۱ جریان بار در نظر می‌گیریم.

هـ – برای هماهنگی رله‌های پشتیبان با رله‌های اصلی، محل اتصال کوتاه را درست در جلوی رله اصلی انتخاب می‌کنیم.

و – زمان (ضریب تنظیم زمانی) رله‌های پشتیبان را با توجه به اتصال کوتاه یاد شده به اندازه فاصله زمانی هماهنگی بیشتر از رله اصلی در نظر می‌گیریم.

حال برای اعمال اصول یاد شده در شبکه شکل (۲۴ـ۲) به اطلاعاتی که در ذیل شکل آورده شده است توجه می‌نمائیم. سطر اول نسبت تبدیل C.Tها، سطر سوم ماکزیمم جریان خطا جلو هر رله یا کلید و سطر دوم ماکزیمم جریانهای بار هستند. همچنین برای راحتی کار فرض می‌شود نوع رله‌ها از رله‌های با منحنی کاهشی معمولی است.

همانطور که گفته شد، در شبکه شکل (۲۴ـ۲) از رله پست D یعنی رله $R_۴$ شروع می‌کنیم؛ رله $R_۳$ بایستی با رله $R_۴$ هماهنگ شود (یعنی برای خطای $F_۳$ رله $R_۳$ را با $R_۴$ هماهنگ می‌کنیم). همین عمل برای هماهنگی رله $R_۲$ با $R_۳$ ادامه پیدا می‌کند. یعنی برای خطای سه فاز واقع در $F_۲$ این هماهنگی را انجام می‌دهیم. مراحل واقعی اجراء برای تنظیم رله‌ها با توجه به مواردی که ذکر شده به شرح زیر است:

$$RSI_{R_۴} = ۱/۳ \times ۵۰ = ۶۵$$

سپس با استفاده از رابطه $RSI = \frac{Ps \times C.T}{۱۰۰}$ مقدار P.S بدست می‌آید.

چون $C.T = \frac{۱۰۰}{۵}$ می‌باشد پس $P.S = ٪۶۵$ بدست می‌آید که پس از نرم شدن $P.S = ٪۷۵$ خواهد شد و در نتیجه RSI واقعی برابر خواهد بود با

$$RSI_{R_۴} = \frac{۷۵ \times ۱۰۰}{۱۰۰} = ۷۵ \text{ آمپر}$$

TSM آخرین رله (رله $R_۴$) ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبهٔ زمان عملکرد رله از رابطه مدل رله (۲۰ـ۲) استفاده می‌کنیم (مدل رله)؛ یعنی چون رله‌های معکوس معمولی فرض شده‌اند پس:

POWEREN.IR

$$t = \frac{۰/۱۴}{(\frac{I}{I_b})^{۰/۰۲}-۱} \times TSM$$

پس:

$$t_{R_۴} = \frac{۰/۱۴}{(\frac{۱۵۰۰}{۷۵})^{۰/۰۲}-۱} \times ۰/۰۵ = ۰/۱۱۳S$$

PowerEn.ir

زمان عملکرد در رله $t_{R_۳}$ برابر $t_{R_۴}$ باضافه فاصله زمانی هماهنگی است یعنی:

$$t_{R_۳} = DT + t_{R_۴} = ۰/۴ + ۰/۱۱۳ = ۰/۵۱۳S$$

با استفاده از رابطهٔ (۲۰ـ۲) و قرار دادن زمان $t_{R_۳}$ مقدار TSM رله $R_۳$ بدست می‌آید؛ یعنی نکته ضروری اینکه چون زمان $t_{R_۳}$ برای خطا در $F_۳$ محاسبه شده ذیلاً نیز همان جریان یعنی ۱۵۰۰ آمپر را منظور می‌کنیم. I_b مربوط به رله $R_۳$ است که با توجه به جریان بار عبور از شبکه پست C،

$$۱/۲ \times ۱۵۰ = \frac{PS \times ۲۰۰}{۱۰۰} \Rightarrow PS_{R_۳} = ٪۹۰$$

است که پس از استاندارد کردن، $PS_{R_۳} = ٪۱۰۰$ می‌شود.

نتیجه اینکه $RSI_{R_۳}$ واقعی برابر خواهد بود با:

$$RSI_{R_۳} = \frac{۱۰۰ \times ۲۰۰}{۱۰۰} = ۲۰۰ \text{ آمپر}$$

$$t_{R_۳} = \frac{۰/۱۴}{(\frac{۱۵۰۰}{۲۰۰})^{۰/۰۲}-۱} \times TSM \Rightarrow TSM_{R_۳} = ۰/۱۵۱$$

که پس از استاندارد کردن، $TSM_{R_۳} = ۰/۲$ می‌شود.

تا اینجا برای رله $R_۳$، $TSM_{R_۳}$ و $PS_{R_۳}$ تعیین گردیدند.

ـ برای تعیین $PS_{R_۲}$ و $TSM_{R_۲}$ نیز همان مراحلی که برای تعیین ضرایب تنظیم زمانی و جریانی رله $R_۳$ عمل شد، تکرار می‌شود. یعنی PS رله $R_۲$ با استفاده از جریان بار تعیین می‌شود.

برای تعیین TSM رله $R_۲$ لازم است که خطا را در محلی که از هر دو رله اصلی و پشتیبان ($R_۳$ و $R_۲$) بیشترین جریان عبور کند منظور کنیم یعنی برای خطای واقع در $F_۲$ (یعنی ۲۵۰۰ آمپر) عمل هماهنگی را انجام می‌دهیم. نکته قابل توجه اینکه در اینجا نیز تا زمانی که $TSM_{R_۲}$ تعیین نشده است، همواره جریان خطا را جریان اتصال کوتاه واقع در $F_۲$ یعنی ۲۵۰۰ آمپر منظور می‌کنیم. این عمل عیناً برای هماهنگی رله‌های $R_۱$ با $R_۲$ نیز تکرار می‌شود (البته برای خطای واقع در جلوی رله $R_۲$).

مثال [۶]:

یک ترانسفورماتور ۲۰MVA که شینه ۱۱KV را از طریق یک کلید قدرت تغذیه می‌کند، در نظر

POWEREN.IR

بگیرید. کلیدهای قدرت دیگر به فیدرهای خروجی متصل می‌باشند. کلید قدرت ترانسفورماتور مجهز به ترانسفورماتور جریان $\frac{۱۰۰۰}{۵}$ است و روی کلیدهای فیدرهای خروجی C.Tهای $\frac{۴۰۰}{۵}$ قرار دارد و همه ترانسفورماتورهای جریان به رله‌های جریان زیاد کاهشی معمولی ۵ آمپر متصل هستند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

رله‌های روی فیدرهای خروجی دارای TSM=۰/۳ و PS=۱۲۵ می‌باشند. اگر جریان ۵۰۰۰A ناشی از خطای سه فازه از ترانسفورماتور به سمت یکی از فیدرها عبور کند زمان رفع این خطا توسط رله چقدر است؟

P.S و TSM رله روی ترانسفورماتور قدرت که روی طرف ۱۱KV وصل است را طوری تعیین کنید که فاصله زمانی قطع دو رله ۰/۵ باشد؟

برای فیدر خروجی: $RSI = \frac{CT \times PS}{۱۰۰} = \frac{۴۰۰ \times ۱۲۵}{۱۰۰} = ۵۰۰$

I_b یا RSI جریان تنظیم نسبت به اولیه است.برای یافتن ضریب PSM[1] که در معادله مدل رله بکار می‌رود، نسبت جریان خطا به جریان تنظیم، نسبت به اولیه محاسبه می‌شود. یعنی:

$$PSM = \frac{I_f}{RSI} = \frac{۵۰۰۰}{۵۰۰} = ۱۰$$

از رابطه مدل رله جریان زیاد استاندارد و برای TSM = ۱ داریم: ثانیه t= ۳

لذا برای TSM = ۰/۳؛ ثانیه ۰/۹ = ۰/۳×۳ = زمان قطع واقعی رله

چون در ترانسفورماتور حداکثر جریان بار، حدود ۱/۳ جریان بار نامی است پس:

$$\text{جریان اضافه بار از اولیه رله ترانسفورماتور قدرت} = \frac{۱/۳ \times ۲۰ \times ۱۰^۶}{\sqrt{۳} \times ۱۱ \times ۱۰^۳} = ۱۳۶۰ \text{ آمپر}$$

$$RSI = \frac{CT \times PS}{۱۰۰} = \frac{۱۰۰۰ \times PS}{۱۰۰} \Rightarrow PS = ٪۱۳۶$$

پس از استاندارد کردن، مقدار ضریب تنظیم جریانی ۱۵۰٪ است.

$$PS = ٪۱۵۰$$

$$RSI = \frac{CT \times PS}{۱۰۰} = \frac{۱۰۰۰ \times ۱۵۰}{۱۰۰} = ۱۵۰۰ \text{ آمپر}$$

$$PSM = \frac{۵۰۰۰}{۱۵۰۰} = ۳/۳۳$$

POWEREN.IR

1- Plug Setting Multiplier

زمان عملکرد در رله بازاء ۱ = TSM باتوجه به مقدار PSM معادل ۳/۳۳، برابر است با: ثانیه ۵/۷=t

ثانیه ۱/۴ = ۰/۹+۰/۵ = t زمان واقعی قطع

PowerEn.ir

باتوجه به این‌که هدف یافتن مقدار واقعی TSM است پس:

$$TSM = \frac{۱/۴}{۵/۷} = ۰/۲۴۶$$

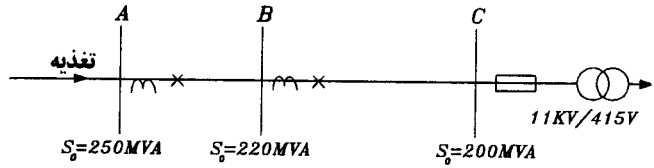
و با نرم کردن، مقدار ۰/۲۵ =TSM می‌شود.

مسائل

۱ - یک مدار سه فازه ۱۱ کیلو ولت شامل سه شین A و B و C مطابق شکل زیر موجود است. تغذیه از سوی شینهٔ A صورت می‌گیرد. سطوح اتصال کوتاه (S_0) در نقاط A و B و C بر روی شکل کاملاً نمایان است (ولتاژ مبنا ۱۱kV می‌باشد). در نقطهٔ C یک فیوز زمانی وجود دارد که برای قدرت ۲۰۰MVA (خطا در سمت فشار قوی) در ۰/۱ ثانیه ذوب می‌شود. تمامی C.Tهای نشان داده شده روی شکل، دارای نسبت تبدیل $\frac{۴۰۰}{۵}$ آمپر و همگی مجهز به رله‌های جریان زیاد با منحنی مشخصهٔ کاهشی می‌باشد. P.S این رله‌ها چنان است که با فرض یک اختلاف زمانی ۰/۵ ثانیه برای یک اتصال کوتاه سه فازه پشت هر رله، PSM کمتر از ۲۰ باشد. مطلوبست:

الف: محاسبه تنظیم زمانی و جریانی (P.S و TSM) رله‌های پشت شین‌های A و B با فرض آنکه اختلاف زمانی جهت عملکرد رله‌ها برابر با ۰/۵ ثانیه باشد.

ب: اگر ماکزیمم بارها در مقاطع AB و BC بترتیب ۲MVA و ۱MVA باشد بررسی کنید که حفاظت در شرایط کشیدن بار عمل نخواهد کرد.



۲ - چنانچه جوابهای مسئلهٔ ۲ داده شده باشد و تغذیهٔ A بگونه‌ای تغییر کند که سطح اتصال کوتاه در شینهٔ A به $\frac{۳}{۴}$ مقدار قبلی کاهش یابد، سطوح اتصال کوتاه در شینه‌های B و C چقدر خواهد شد؟

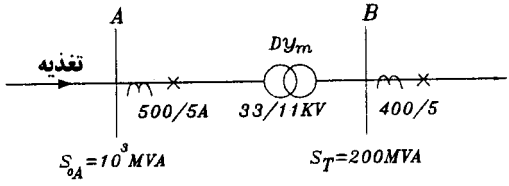
فاصلهٔ زمانی هماهنگی بین رله‌های مستقر در پشت شین‌های A و B چقدر است؟

۳ – مدار مسئله ۲ بوسیله یک ترانسفورماتور DY که با مقاومت زمین شده است تغذیه می‌شود با فرض اینکه جریان زمین ۲۰۰۰ آمپر در همه نقاط روی کابل ABC باشد و با در نظر گرفتن ۳ رله جریان زیاد با منحنی معکوس نیز با تنظیم‌های داده شده موجود باشد و فیوز هنوز در ۰/۱ ثانیه قطع کند، اختلاف زمان بین حفاظتها در B و C و بین A و B را پیدا کنید.

۴ – فرض کنید که مدار و اطلاعات داده شده در مسئله ۳ موجود باشد اما رله‌های جریان زیاد کاهشی بصورت طرح دو رلهٔ جریان زیاد و یک رلهٔ زمین باشد. پیدا کنید که چگونه به ازای جریان ۲۰۰۰ آمپر یک فاصلهٔ زمانی ۰/۵ ثانیه بین زمان عملکرد رله‌های حفاظتی به دست می‌آید.

۵ – یک فیدر ترانسفورماتور AB مطابق شکل زیر موجود است:

که در آن S.A قدرت اتصال کوتاه (سطح اتصال کوتاه) در شین ۳۳ کیلو واتی می‌باشد. تمامی آن‌ها مجهز به رله‌های جریان زیاد با منحنی کاهشی هستند. چنانچه جریان اضافه بار ترانسفورماتور ۳۰٪ و امپدانس پراکندگی آن ۱۰٪بر مبنای مقدار نامی باشد، مطلوبست:



الف: محاسبهٔ سطح اتصال کوتاه در B و زمان قطع حفاظت در شین B بشرط اینکه تنظیم‌های زمانی و جریانی برای رلهٔ B بترتیب TSM = ۰/۴ و PS = ٪۱۵۰ باشد.

ب: محاسبه P.S رلهٔ موجود در سمت ۳۳ کیلو ولت که PSM کمتر از ۲۰ در A بوده و TSM آن که ۰/۵ ثانیه تفاوت زمانی با رلهٔ موجود در سمت ۱۱kW ایجاد کند.

ج:چنانچه خطای دو فازه بجای خطای سه فازه که در فرض الف منظور کردیم در شین B رخ دهد (پشت کلید در B)، و با فرض اینکه امپدانسهای مثبت و منفی برابرند، مسئلهٔ بالا را حل کرده و با سه فاز مقایسه نمائید. همچنین مقایسه نمائید که آیا رله‌های ۳۳kV در ماکزیمم بار عمل خواهند کرد یا نه؟

۶ – یک شینهٔ ۱۱ کیلو ولتی مطابق شکل زیر دارای دو فیدر ورودی است که هر کدام با C.T $\frac{۱۰۰۰}{۵}$ آمپر مجهزند سایر اطلاعات در شکل نشان داده شده است. مطلوبست:

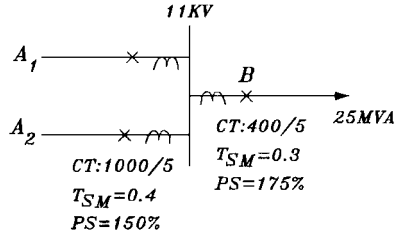
الف – محاسبهٔ فاصله زمانی عملکرد رلهٔ ورودی و رلهٔ فیدر خروجی (B) برای یک خطای سه فازه با

قدرت اتصال کوتاه MVA ۲۵۰ بشرط اینکه فقط یک فیدر ورودی وصل باشد.

ب – قسمت الف را در حالی که دو فیدر ورودی وصل هستند و قدرت اتصال کوتاه هم هنوز ۲۵۰MVA باشد (بعلت تغییرات در تغذیه‌ها) و دو فیدر هم جریانی یکسانی حمل می‌کنند، حل کنید.

PowerEn.ir

ج – نشان دهید که حفاظت روی کدام فیدر ورودی، وقتی دیگری قطع باشد برای بار MVA ۲۵ قطع نمی‌کند (در هر حالت بار کل را MVA ۲۵ فرض کنید).



POWEREN.IR

مراجع:

POWEREN.IR

1.K.S.Bajaj, "Industrial Power System Protective Device Coordination by Computers", IEEE IAS Annual Meeting Los Angels, CA, Oct. 1977, pp.528-532.

2.B.Chahopadhyay, M.S.Siduh, "An On-Line Relay Coordination Algorithm for Adaptive Protection using linear Programming Technique", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 11, No.1 , Jan.1996, pp.77-83.

3.Electricity Council, "Power System Protection", London: Macdonald, vol.2, 1982.

4.GEC Measurement ,"Protective Relay Application Guide", The General Electric Company, of England, 1995.

5.C.A.Gross, "Power System Anlysis", Prentice - Hall, 1979.

6.A.E.Guil,W. Paterson, "Electrival Power Systems", Edinburgh: Oliver & Boyd. vol.1,1972.

7.M.E. L-Hawary, "Electrical Power Systems Design and Analysis", Prentice-Hall Company, 1983.

8. IEC Stanadard Publication 255-4, "Single Input Energiszing Quantity Measuring Relays with Dependent Specified Time", 1976.

9.G.E Radke, "A Method for Calculating Time Over Current Relay Setting by Digital Computer", IEEE Trans. On Power System. Special Supplement, 1963.

10. A.M.Ranjbar, H.Askarian Abyaneh, "Co-ordination of Over Current and Distance Relays Incorporating Accutatig Relay Models", IASTED , 1990.

11.H.A.Smolleck, "A Simple Method for Obtaining Feasible Computational Models for Time Current Characteristic of Industrial Power System Protective Device", Power System Research, pp.129-134,1979.

12.Tutorial of IEE on: "Application of Distribution System Protection",

POWEREN.IR

Industrial Conference on Advances in Power System Contorl, Operation & Measurment (APSCOM-91) IEE Conference, HongKong, 1991.

۱۳. سپه دژ - سروش "هماهنگی بهینهٔ رله‌های جریان زیاد و عناصر سریع و فیوزها در شبکه‌های توزیع صنعتی"، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک - تهران)، تابستان ۱۳۷۴.

۱۴. دکتر حسین عسکریان ابیانه، سروش سپه دژ، "نرم‌افزار هماهنگی عناصر حفاظت جریان زیاد در شبکه‌های صنعتی" کنفرانس مهندسی برق ایران - دانشگاه علم و صنعت، اردیبهشت ۱۳۷۴.

POWEREN.IR
Poweren.ir

PowerEn.ir

POWEREN.IR

PowerEn.ir

فصل سوم

ترانسفورماتورهای حفاظتی جریان و ولتاژ

مقدمه

در پستهای فشار قوی به دو منظور اساسی اندازه‌گیری و حفاظت، به اطلاع از وضعیت کمیت‌های الکتریکی ولتاژ و جریان احتیاج است. ولی از آنجاکه مقادیر کمیت‌های مزبور در پستها و خطوط فشار قوی بسیار زیاد می‌باشند و دسترسی مستقیم به آنها نـه اقـتصادی بـوده و نـه عـملی است، لذا از ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ استفاده می‌شود. ثانویه این ترانسفورماتورها نمونه‌هایی با مقیاس کم از کمیت‌های مزبور که تا حد بسیار بالایی تمام ویژگی‌های کمیت اصلی را داراست، در اخـتیار می‌گذارد، و کلیه دستگاههای اندازه‌گیری، حفاظت وکنترل مانند ولتمتر، آمپرمتر، توان سنج، رله‌ها، دستگاههای ثبات خطاها و وقایع و غیره... که برای ولتاژ و جریان‌های پائین سـاخته مـی‌شوند از طریق آنها به کمیت‌های مورد نظر در پست دست می‌یابند.

بنابراین ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ از یک طرف یک وسیله فشار قوی بوده و بـنابرایـن میبایستی بصورت هماهنگ با سایر تجهیزات فشارقوی انتخاب شوند (طرف اولیه[1]) و از طرف دیگر به تجهیزات فشار ضعیف پست ارتباط دارند(طرف ثانویه[2])، لذا لازم است مشخصات فنی آنها بطور

POWEREN.IR

1. Primary Side
2. Secordary Side

هماهنگ با تجهیزات حفاظت، کنترل و اندازه‌گیری انتخاب شود.

PowerEn.ir

۱-۳- خصوصیات ترانسفورماتور جریان حفاظتی

۱-۱-۳- کلیات

ترانسفورماتور جریان حفاظتی جهت بدست آوردن جریان عبوری از خط انتقال یا تجهیزات دیگر شبکه قدرت در مقیاس پایین‌تر به کار می‌رود. سیم پیچی اولیه آن بطور سری در مدار قرار دارد و بسته به نوع اولیه می‌تواند تک دوری یا چند دوری باشد. تعداد دور ثانویه C.T متناسب با نسبت تبدیل می‌باشد. میزان بار ثانویه[1] با توجه به نوع ولتاژ و جریان آن تعیین می‌گردد. تفاوت آن با ترانسفورماتور اندازه‌گیری آنست که قابلیت آن را دارد که جریانهای خیلی زیاد را به جریان کم قابل استفاده در رله‌ها تبدیل کند.

همچنین ترانسفورماتور جریان باید طوری انتخاب شود که هم در حالت عادی و نرمال شبکه و هم در حالت اتصال کوتاه و ایجاد خطا بتواند جریان ثانویه لازم و مجاز را برای دستگاههای حفاظتی تأمین کند.

از آنجا که در اختیار گذاشتن جریان بطور مستقیم در جریان و ولتاژهای زیاد میسر نیست و از طرفی چنانچه امکان بدست آوردن آن نیز باشد، ساخت وسایل حفاظتی که در جریان زیاد کار کنند به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست لذا این عمل عمدتاً توسط ترانسفورماتورهای جریان انجام می‌شود.

۲-۱-۳- انواع ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی از نظر ساختمان[۹]:

بطور کلی ترانسفورماتورهای جریان از نظر ساختمان به دو نوع تقسیم می‌شوند:

- ترانسفورماتورهای جریان با هسته پایین
- ترانسفورماتورهای جریان با هسته بالا

۱-۲-۱-۳- ترانسفورماتورهای جریان با هسته پایین

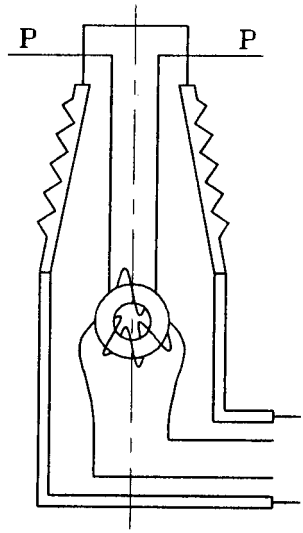
در این ترانسفورماتور سیم پیچ اولیه که به شکل U است از داخل یک محفظه استوانه‌ای به طرف پایین بداخل مخزن برده شده است و سیم پیچ ثانویه در مخزن قرار دارد. سطح خارجی قسمت

POWEREN.IR

1- Burden

حلقه‌ای شکل عایق اصلی با غلاف متصل به زمین پوشیده شده است و بنابراین مخزن فلزی از نظر الکتریکی محافظت شده است.

PowerEn.ir



شکل (۱-۳): ترانسفورماتور جریان هسته پایین

در این طرح طول اولیه نسبتا زیاد بوده و عبور جریان باعث گرم شدن ترانسفورماتور جریان می‌گردد. این ترانسفورماتور اصولا برای ولتاژهای تا ۷۶۵ کیلو ولت و جریانهای تا ۳۰۰۰ آمپر مناسب است. استفاده از آن بیشتر در مواردی است که چندین هسته و نیز اتصالات متعدد اولیه برای نسبتهای مختلف جریان لازم می‌باشد.

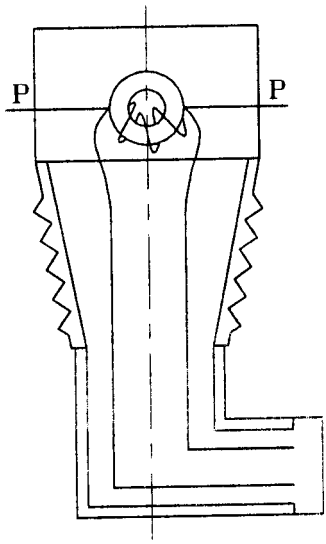
۲-۲-۱-۳- ترانسفورماتورهای جریان با هسته بالا

در این ترانسفورماتورها مسیر طی شده توسط اولیه در داخل ترانسفورماتور، کوتاهترین مسیر بوده و طرح آن به ترتیبی است که سیم پیچ ثانویه دور یک هسته که به صورت یک حلقه می‌باشد پیچیده شده و هادی اولیه از وسط این حلقه عبور می‌نماید.

مجموعه سیم پیچهای اولیه و ثانویه در یک محفظه فلزی روی یک عایق توخالی پر از روغن قرار دارد. سرهای سیم پیچ ثانویه به وسیله سیمهای عایق شده که از داخل یک لوله می‌گذرند به قسمت پایین (جعبه ترمینال) منتقل می‌شود.

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۲-۳): ترانسفورماتور جریان با هستهٔ بالا

۳-۱-۳- تفاوت ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی با ترانسفورماتورهای توان

با وجود اینکه اصول ترانسفورماتورهای جریان، مشابه ترانسفورماتورهای توان می‌باشد، اما تفاوتهایی نیز با یکدیگر دارند که در ذیل به چند مورد از آنها اشاره می‌شود.

- در ترانسفورماتورهای توان، جریان توسط بار تعیین می‌شود یعنی جریان طرف ثانویه مسلط می‌باشد ولی در ترانسفورماتورهای جریان، جریان طرف اولیه تعیین کننده بوده و بار ثانویه تأثیری در مقدار جریان ندارد.

- ترانسفورماتورهای توان، برای تبدیل سطح ولتاژ و همچنین جریان از مقدار کمتر به بیشتر و یا بالعکس بکار می‌روند در حالیکه ترانسفورماتور جریان حفاظتی صرفاً به عنوان کاهنده جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- ترانسفورماتورهای توان، برای عمل در فرکانس نامی بکار می‌روند. ولی ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی باید بتوانند در شرایط اتصال کوتاه تحت هارمونیکهای بوجود آمده، مشخصات خود از قبیل اختلاف فاز اولیه و ثانویه را بدون تغییر حفظ کنند.

- همهٔ ترانسفورماتورهای توان سه فاز هستند ولی ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی معمولا بصورت تک فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- ترانسفورماتور جریان حفاظتی نسبت به ترانسفورماتور توان دارای ایزولاسیون مشکلتری است

زیرا برای استفاده در قسمت ولتاژ بالا، سمت اولیه به ولتاژ بالا و در قسمت ثانویه به ولتاژ حدود صفر (سطح ولتاژ مدار رله) متصل است.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

– در ترانسفورماتور توان، ثانویه نباید اتصال کوتاه شود چون جریان اتصال کوتاه موجب آسیب دیدن ترانسفورماتور می‌گردد. در حالت مدار باز، جریان ثانویه صفر بوده و جریان اولیه معادل جریان تحریک خواهد بود و هیچ مشکلی برای ترانسفورماتور پیش نمی‌آید. اما در ترانسفورماتور جریان حفاظتی که جریان اولیه تعیین کننده است اگر ثانویه باز باشد در اولیه جریان زیاد بوده اما در ثانویه جریان در سیم پیچ وجود ندارد. درنتیجه فوران هسته سبب تلفات بسیاربالا در آن شده و موجب آسیب دیدن (ذوب شدن) هسته می‌گردد.

۴-۱-۳- معیارهای انتخاب ترانسفورماتور جریان حفاظتی

- ولتاژ نامی و سطوح عایقی[1]

یکی از عوامل مهمی که در انتخاب ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی نقش دارد، ولتاژ عایقی و سطح ایزولاسیون می‌باشد. یعنی ترانسفورماتور جریان، باید از نظر عایقی، محل اختلاف ولتاژ بین قسمتهای دارای سطح ولتاژ بالا در شبکه و قسمتهای ولتاژ پایین طرف دستگاههای حفاظتی را دارا باشد.

- جریان نامی اولیه[2]

ترانسفورماتور جریان حفاظتی دارای جریان نامی اولیه معینی می‌باشد، بنابراین جریان نامی در عنصر حفاظت‌شونده نباید از جریان نامی اولیه ترانسفورماتور جریان بیشتر باشد تا ازآسیب دیدن آن جلوگیری شود.

- جریان نامی ثانویه[3]

در خصوص جریان نامی ثانویه ترانسفورماتور جریان، باید توجه داشت که ترانسفورماتوری انتخاب شود که جریان نامی ثانویه آن با جریان نامی ورودی دستگاههای حفاظتی برابر باشد تا دستگاههای حفاظتی بتوانند در بهترین شرایط کار کنند و دچار آسیب‌دیدگی در اثر اضافه جریان دائم نگردند.

1- Rated Voltage and Insulation Level
2- Rated Primary Currents
3- Rated Secondary Currents

POWEREN.IR

PowerEn.ir

- جریان کوتاه مدت[1]

یک از پارامترهایی که بعنوان مشخصات ترانسفورماتورهای جریان باید در نظر گرفت، حداکثر جریانی است که می‌توانند به مدت معینی (مطابق با استانداردهای مربوطه) از خود عبور دهند و هیچگونه آسیبی به آنها وارد نگردد؛ پس در انتخاب ترانسفورماتورهای جریان باید دقت کرد که اضافه جریانها در سیستم حفاظتی و مدت زمان آنها در حد تحمل ترانسفورماتورهای جریان باشد.

- جریان دینامیکی (اتصال کوتاه در اولیه)[2]

از آنجا که در حالت اتصال کوتاه، جریان به چند برابر جریان نامی افزایش می‌یابد، باید توجه داشت که ترانسفورماتورهای جریان، تحمل این جریان شدید گذرا را داشته باشد. همچنین ترانسفورماتور جریان را باید بگونه‌ای انتخاب نمود که بعد از این جریان به اشباع نرود تا بتواند مقدار حقیقی جریان را به ثانویه منتقل کند.

- فرکانس سیستم[3]

با توجه به اینکه ترانسفورماتورهای جریان برای کار در فرکانس معینی (معمولا ۵۰Hz یا ۶۰Hz) طراحی می‌شوند، باید در انتخاب آنها، به این عامل نیز توجه کرد.

- تعداد هسته‌ها[4]

- حدود ابعاد یا حجم دستگاه

- کلاس دقت و ظرفیت خروجی[5]

ظرفیت خروجی ترانسفورماتور جریان از آن جهت مورد توجه قرار می‌گیرد که با توجه به ظرفیت توان خروجی ترانسفورماتور جریان، تعداد معینی رله و یا سایر تجهیزات حفاظتی را می‌توان به خروجی آن وصل کرد.

در خصوص کلاس دقت، خطاها و انواع آنها، بعداً در این فصل توضیح داده خواهد شد.

1- Short Time Current
2- Dynamic Current
3- System Frequency
4- Number of Cores
5- Output Burden and Accuracies

POWEREN.IR

۵-۱-۳- منحنی اشباع ترانسفورماتور جریان حفاظتی

۱-۵-۱-۳- ترانسفورماتور ایده‌آل

PowerEn.ir

ترانسفورماتور ایده‌آل، ترانسفورماتوری است که در آن از مقاومت سیم پیچ اولیه و ثانویه صرفنظر شده و تمام شار ایجاد شده بوسیله جریانهای اولیه و ثانویه به هسته ترانسفورماتور انتقال داده شده می‌شود. نفوذپذیری مغناطیسی هسته آن بی‌نهایت فرض می‌شود و در نتیجه روابط زیر بدست می‌آید:

$$V_1 = E_1 = N_1 \frac{d\varphi}{dt} \qquad (۳-۱)$$

$$V_2 = E_2 = N_2 \frac{d\varphi}{dt} \qquad (۳-۲)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (۳-۳)$$

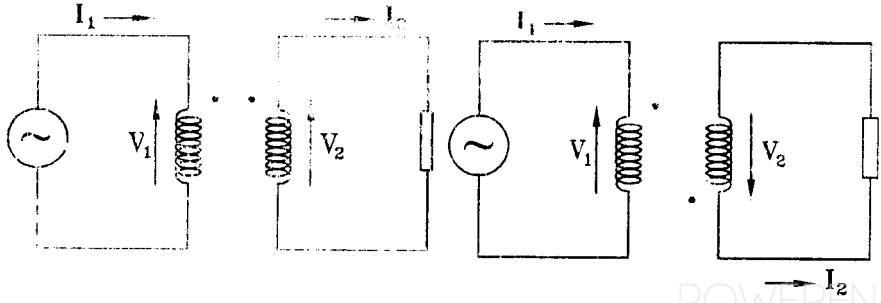
N_1 و N_2 تعداد حلقه‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور جریان، φ شار و E_1 و E_2 نیروی محرکه الکتریکی در اولیه و ثانویه هستند.

در صورتیکه جریان I_2 از سیم پیچ ثانویه عبور نماید، نیروی محرکه مغناطیسی N_2I_2 ایجاد شده که باعث عبور جریان I_1 از اولیه می‌گردد. نیروی محرکه ایجاد شده بوسیله آن باید مساوی N_2I_2 و بر طبق قانون لنز در خلاف جهت نیروی محرکه ثانویه باشد.

$$N_1I_1 = N_2I_2 \qquad (۳-۴)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (۳-۵)$$

برای مشخص شدن جهت سیم پیچ‌ها، معمولا در آن طرف که شار هم جهت ایجاد می‌نمایند و در نتیجه ولتاژهای بوجود آمده در آنها هم جهت می‌باشند، دو نقطه قرار می‌دهند. در این صورت جریانهای عبور کننده از طرف نقطه دار خلاف جهت یکدیگر می‌باشند.



شکل (۳-۳): جهت قراردادی سیم پیچ‌ها

POWEREN.IR

اگر امپدانس ثانویه Z_2 باشد روابط زیر نتیجه می‌شود:

$$\frac{V_2}{I_2} = Z_2 \qquad (۳-۶)$$

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2 N_1 / N_2}{I_2 N_2 / N_1} \qquad (۳-۷)$$

POWEREN.IR
PowerEn.ir

با جانشین کردن $\frac{V_2}{I_2}$ از رابطه (۳-۶) در رابطه (۳-۷) داریم:

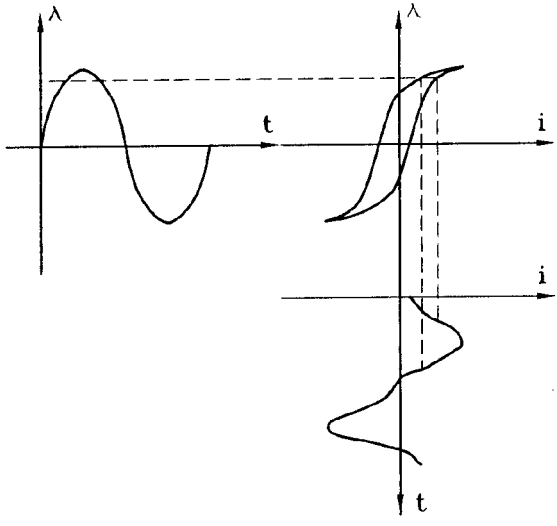
$$\frac{V_1}{I_1} = Z_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \qquad (۳-۸)$$

یعنی با وصل کردن یک امپدانس معادل $Z_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$ به ترمینالهای اولیه، می‌توانیم مقادیر اولیه و ثانویه را با در نظر گرفتن ضریب فوق به طرف دیگر منتقل نماییم.

۲-۵-۱-۳- جریان تحریک هسته

اگر از تلفات مسی و اندوکتانس پراکندگی اولیه صرفنظر نماییم و ثانویه ترانسفورماتور نیز در دسترس باشد، می‌توانیم شار دور را بدست آورده و با استفاده از روش ترسیمی، جریان سیم پیچ اولیه را که همان جریان تحریک هسته است بدست بیاوریم. در شکل (۳-۴) منحنی شار دور بر حسب جریان اولیه بدست آمده است.

این جریان دارای هارمونیکهای مختلف بوده و به علت تقارن منحنی پس‌ماند فقط شامل هارمونیکهای فرد می‌باشد. هارمونیک اصلی جریان ۹۰ درجه از ولتاژ پس فاز است که اگر رابطه بین دو شار دور و جریان اولیه را بصورت یک خط در نظر بگیریم و از پس‌ماند صرفنظر نماییم این جریان نتیجه می‌گردد. هارمونیکهای دیگر نشان دهندهٔ وجود تلفات پس‌ماند در هسته است.



شکل (۳-۴): جریان تحریک هسته

POWEREN.IR

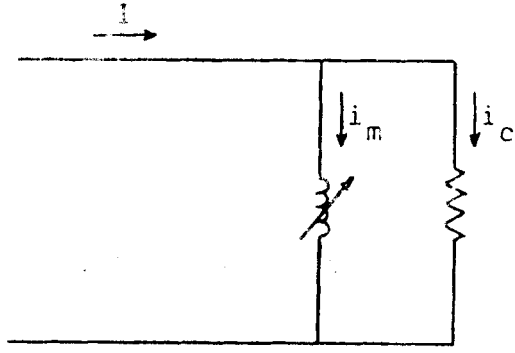
پس مدار معادل هسته را برای در نظر گرفتن پس‌ماند می‌توان به صورت یک سلف غیر خطی در نظر گرفت و برای مدل نمودن باید منحنی پس‌ماند را نیز منظور داشت.

PowerEn.ir

برای در نظر گرفتن تلفات فوکو باید هسته رابه صورت یک ترانسفورماتور در نظر گرفت که ثانویه نیز هسته ترانسفورماتور است و جریان ثانویه در آن مستهلک شده و به گرما تبدیل می‌شود. تدابیری نظیر ورقه نمودن هسته باعث تقلیل جریان فوکو می‌شود بهر حال این جریان را با استفاده از روابط ترانسفورماتور ایده آل می‌توان ضریبی از جریان اولیه در نظر گرفت و تلفات فوکو با توان دوم این جریان، نسبت مستقیم دارد. پس تلفات فوکو را می‌توان مقاومتی فرض نمود و با این ترتیب مدل هسته بصورت شکل زیر خواهد بود. باید در نظر داشت که این مدل تلفات فوکو فقط برای فرکانسهای کم قابل قبول است و چون اشباع ترانسفورماتور جریان بررسی می‌شود و فرکانسهای کم شبکه مورد علاقه ما است از این مدل تلفات فوکو استفاده می‌شود. این مدل در شکل (۵-۳) رسم شده است.

۵-۱-۳- منحنی مغناطیسی هسته

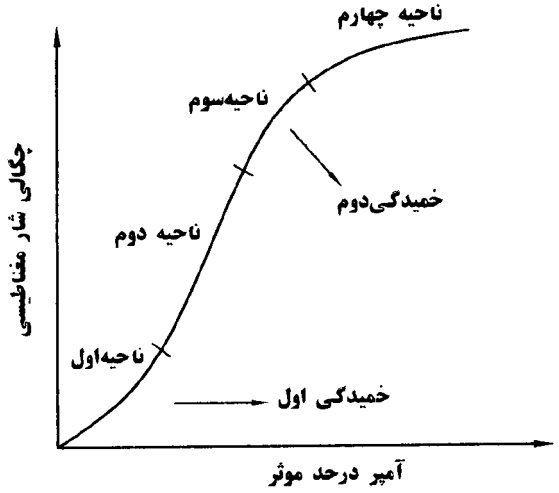
این منحنی در شکل (۶-۳) نشان داده شده است. منحنی تحریک را می‌توان به چهار ناحیه یا چهار قسمت تقسیم کرد. ناحیه یک از مبدا تا اولین خمیدگی، ناحیه دوم از اولین خمیدگی تا دومین خمیدگی ،ناحیه سوم، ناحیه دومین خمیدگی و ناحیه چهارم یا ناحیه اشباع می‌باشد. قسمت زانویی خمیدگی دوم قسمتی است که در ۵۰٪ افزایش آمپر دور، ۱۰٪ افزایش چگالی فشار مغناطیسی حاصل می‌شود. کار ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی بطور کلی از قسمت خمیدگی اول تا ناحیه خمیدگی دوم منحنی یا حتی بالاتر است. درحالی که ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری فقط در ناحیه اولین خمیدگی کار می‌کنند.



شکل (۵-۳): مدل هسته

POWEREN.IR

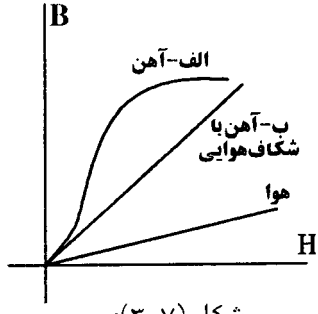
PowerEn.ir



شکل (۶-۳): منحنی مغناطیس شدن ترانسفورماتور جریان

۴-۵-۱-۳- خطی کردن منحنی مغناطیسی هسته

اگر در هسته آهنی یک شکاف بسیار کوچک هوا و یا ماده غیر فرومغناطیس باشد مقاومت مغناطیسی [1] مسیر، مساوی مجموع مقاومت مغناطیسی هسته آهنی و شکاف هوایی خواهد بود. بعلت اینکه هدایت مغناطیسی [2] آهن خیلی بیشتر از هوا است تأثیر مقاومت مغناطیسی آهن کمتر از مقاومت مغناطیسی فاصله هوائی است بدین جهت منحنی غیرخطی (آهن) تبدیل به منحنی خطی (آهن و هوا) خواهد شد. پس تا زمانی که هسته آهنی به اشباع نرود، هسته خطی است. تأثیر فاصله هوایی در شکل (۷-۳) مشخص شده است.



شکل (۷-۳):
الف - منحنی غیر خطی هسته آهنی
ب - منحنی خطی آهن و هوا

POWEREN.IR

1. Reluctance
2. Permability

۲-۳- مدل ترانسفورماتور جریان حفاظتی

الف - مدل مانا

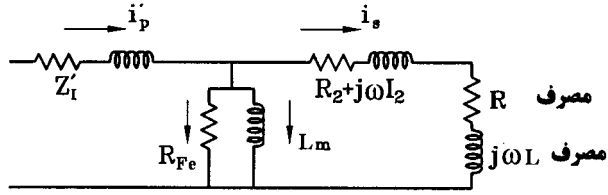
PowerEn.ir

ترانسفورماتورهای جریان همانند سایر تجهیزات الکتریکی دارای مدار معادل می‌باشند. مدار معادل این ترانسفورماتورها برای انواع مختلف دارای تفاوتهای اندکی است. بطور مثال ترانسفورماتور جریان با اولیه سیم پیچی شده در مدار معادل، دارای مقادیر متناظر مقاومت و راکتانس اولیه است. بطور کلی مدار معادل شکل (۸-۳) برای ترانسفورماتور جریان در نظر گرفته می‌شود.

در این مدار مقادیر R_{Fe}, L_m بطور متناظر مربوط به شاخه مدل کننده تلفات فوکو و اندوکتانس مغناطیس کننده هسته می‌باشند. اگر ترانسفورماتور جریان از نوع خطی باشد در این صورت مقدار L_m ثابت خواهد بود ولی در صورت وجود هسته یکپارچه با منحنی مغناطیسی غیر خطی، L_m به صورت تابع غیر خطی از شاردور هسته تغییر خواهد نمود.

مقادیر اندوکتانس و مقاومت بار در مدار معادل بالا نیز جهت انجام محاسبات در نظر گرفته شده است. مقدار مقاومت مدل کننده تلفات هسته در فرکانسهای پایین، ثابت است. در فرکانسهای کمتر از ۴۰۰ هرتز، حلقه[1] پس‌ماند از فرکانس مستقل [۳] است و نیازی به تصحیح حلقه نمی‌باشد.

هدف از شبیه سازی ترانسفورماتور جریان، با استفاده از مدار معادل فوق، یافتن مقادیر جریان ثانویه با توجه به رفتار مغناطیسی هسته و تلفات آن در شرایط گوناگون اعمال جریان به اولیه می‌باشد.



شکل (۸-۳): مدار معادل ترانسفورماتور جریان

ب - مدل گذرا

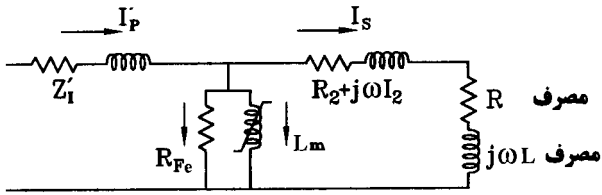
در حالت گذرا، بعلت افزایش ناگهانی جریان و نیز ایجاد هارمونیکهای مختلف و تغییرات فرکانس، منحنی مغناطیسی هسته تغییر کرده، در نتیجه پارامترهایی که برای مدار معادل حالت باید در نظر گرفته شود دیگر ثابت نخواهند بود. در این حالت، مدار معادل و منحنی مشخصه‌ای مطابق

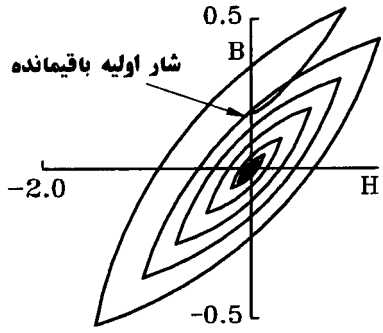
POWEREN.IR

1- Loop

شکل زیر خواهیم داشت [۸و۷و۶].

PowerEn.ir





شکل (۹ـ۳):

الف) مدار معادل هستهٔ C_t در حالت گذرا

ب) منحنی مغناطیس شدگی هستهٔ C_t در حالت گذرا

الگوریتمهای متعددی جهت شبیه سازی ترانسفورماتورهای جریان در حالت گذرا وجود دارد. با توجه به رفتار مغناطیسی هسته دو روش کلی می‌توان در نظر گرفت. یکی از این روش‌ها، شبیه‌سازی هسته با منحنی چند تکه‌ای خطی و روش دیگر شبیه سازی C.Tها بر پایه یافتن رابطه‌ای مستقیم بین جریان ثانویه و اولیه می‌باشد. در واقع مدلهای زمان واقعی[1] در اینجا بکار گرفته می‌شود. روش مدلسازی هسته با درنظر گرفتن پدیده پس‌ماند (حلقه خودساز) از دیگر روشهای شبیه‌سازی ترانسفورماتور جریان است. در اینجا به شرح روشهای یاد شده و مزایای هریک به لحاظ کاربرد خواهیم پرداخت.

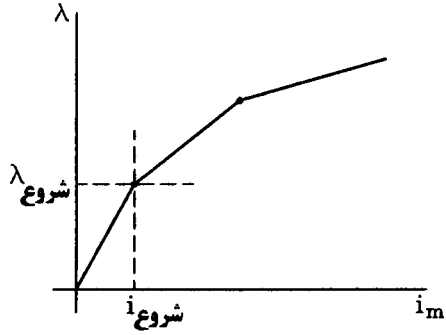
POWEREN.IR

1- Real Time

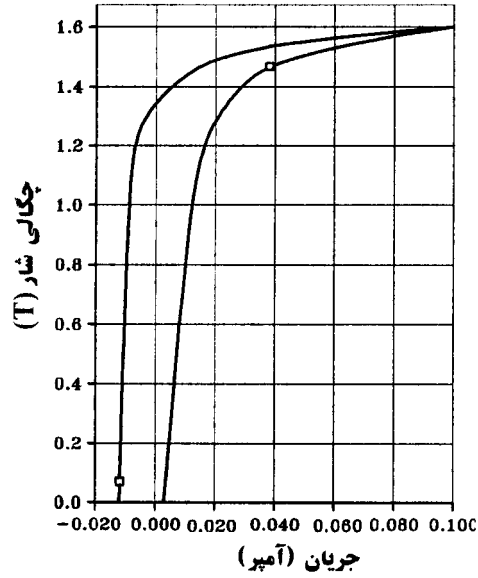
۱-۲-۳- شبیه سازی هسته با در نظر گرفتن منحنی اشباع

در این روش منحنی مغناطیسی هسته با چند پاره خط مدل می‌گردد. بدیهی است که در این روش، حلقه جریان مغناطیس کنندگی مانند حلقه پس‌ماند ایجاد نمی‌گردد. هر پاره خط نمایانگر مقدار ثابتی از اندوکتانس مغناطیس کنندگی هسته است و میزان جریان عبوری از آن (جریان معادلی که سبب ولتاژ القایی می‌شود) با محاسبه ولتاژ القایی هسته مشخص می‌گردد. نمونه‌ای از منحنی چند تکه‌ای خطی در زیر نمایش داده شده است.

PowerEn.ir



شکل (۱۰-۳): منحنی اشباع چند تکه‌ای خطی هسته



شکل (۱۱-۳): حلقه پس‌ماند برای سیلیکون ۵۳

POWEREN.IR

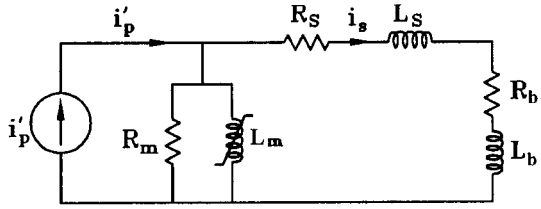
نرم افزارهای نیرومند شبیه سازی در شبکه نیرو مانند EMTP، از این روش برای شبیه سازی منحنی هسته استفاده می‌کنند. البته در برخی موارد، مدل ریاضی منحنی اشباع به صورت چند جمله‌ای با درجه مطلوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این معادله رابطه جریان مغناطیس کنندگی هسته به صورت تابعی از ولتاژ القایی هسته است و با داشتن آن و جایگذاری مقادیر می‌توان جریان هسته را در هر مرحله تعیین نمود. میزان دقت محاسبات با این روش، اندکی پایین می‌باشد و نمی‌توان رفتار مغناطیسی هسته را با این روش مورد ارزیابی قرار داد با این وجود در محاسباتی نظیر اتصال کوتاه بدون اثر اشباع، می‌توان از آن استفاده نمود.

PowerEn.ir

حلقه پس‌ماند در واقع برآیند کاملی از رفتار هسته را در حالت دایمی نشان می‌دهد. تغییرات جریان مغناطیس کنندگی بصورت تابعی از میزان شار دور هسته و جهت تغییرات آن بیان می‌گردد. با لحاظ کردن این پدیده در شبیه سازی، دقت محاسبات افزایش می‌یابد. نمونه‌ای از حلقه پس‌ماند برای هسته‌ای از جنس سیلیکون ۵۳ در شکل (۱۱-۳) نشان داده شده است.

۲-۲-۳- شبیه سازی ترانسفورماتورهای جریان به روش زمان واقعی[1] [۷و۸]

بطور کلی ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ بجز در موارد خاص و نادر از جمله پدیدهٔ فروورزنانس، اثری در رفتارگذرای شبکه ندارند. راجع به پدیدهٔ فروورزونانس در قسمت ب-۳-۴-۳ توضیح داده شده است. با صرف نظر از چنین حالتی، ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ می‌توانند بصورت مستقل از شبکه شبیه سازی شوند. در اینجا به بررسی روش سریع و بدون تکرار جهت شبیه‌سازی ترانسفورماتورهای جریان می‌پردازیم. مدار معادل شبیه سازی در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل (۱۲-۳): مدار معادل $C.T$ در روش زمان واقعی

POWEREN.IR

1- Real Time

در شکل (۱۲-۳):

I_p: جریان اولیه C.T منعکس شده به ثانویه،

I_{Fe}: جریان عبوری از مقاومت R_{Fe} برای تقریبی از تلفات آهنی هسته ،

I_m: جریان مغناطیس کنندگی هسته،

و I_s: جریان ثانویه است.

PowerEn.ir

از آنجا که Ip جریان تحمیلی به مدار می‌باشد باید در تمامی شرایط، رابطه زیر برقرار باشد:

$$I_p = I_{Fe} + I_m + I_s \qquad (۳-۹)$$

حال نشان می‌دهیم که مقادیر جریانهای دو طرف تساوی را می‌توان به صورت توابعی از شار دور نشان داد. در قسمت ج نشان داده خواهد شد که چگونه از رابطه (۹-۳) برای محاسبه I_s استفاده می‌شود.

الف - شاخه تلفات هسته

می‌دانیم ولتاژ دو سر مقاومت R_{Fe} چنین است:

$$V = R_{Fe} \cdot I_{Fe} \qquad (۳-۱۰)$$

از طرف دیگر می‌دانیم این ولتاژ برابر ولتاژ القایی هسته و بصورت زیر بیان می‌شود:

$$V = \frac{d\lambda}{dt} \qquad (۳-۱۱)$$

با استفاده از روش انتگرال‌گیری ذوزنقه‌ای می‌توان نوشت:

$$\frac{\lambda_{new} - \lambda_{old}}{dt} = R_{Fe} \left(\frac{I_{Fe\text{-}new} + I_{Fe\text{-}old}}{2}\right) \qquad (۳-۱۲)$$

در رابطه فوق زیرنویسهای new و old مربوط به مقادیر متناظر با پلهٔ زمانی حاضر t و قبل t-dt می‌باشند. در نهایت با استفاده از رابطه (۱۲-۳) و استخراج، $I_{Fe\text{-}new}$ حاصل می‌شود. در این ر ابطه برای سهولت، معادله C_{Fe} و $h_{Fe\text{-}old}$ مطابق روابط (۱۴-۳) و (۱۵-۳) تعریف شده‌اند. با دسته بندی رابطه می‌توان نوشت:

$$I_{Fe\text{-}new} = C_{Fe} \cdot \lambda_{new} + h_{Fe\text{-}old} \qquad (۳-۱۳)$$

که در آن:

$$C_{Fe} = \frac{2}{R_{Fe} \cdot dt} \qquad (۳-۱۴)$$

و

$$h_{Fe\text{-}old} = -C_{Fe} \cdot \lambda_{old} - I_{Fe\text{-}old} \qquad (۳-۱۵)$$

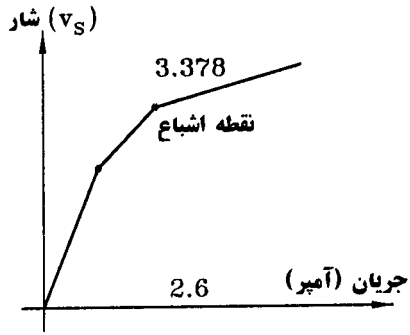
POWEREN.IR

با داشتن پارامترهای یاد شده در رابطه (۱۳-۳)، جریان هسته لحظه جدید محاسبه می‌گردد.

PowerEn.ir

ب - شاخه مغناطیس کنندگی

در اینجا از روش چند تکه‌ای خطی برای نمایش منحنی اشباع استفاده شده است. این رابطه در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل (۳-۱۳): منحنی چند تکه‌ای خطی اشباع نمونه در *EMTP*

اگر نقطه متناظر شار و جریان در یک لحظه زمانی روی پاره خطی باشند که نقاط شروع آن λ_{start} و I_{start} باشد، آنگاه خواهیم داشت:

$$I_m - I_{start} = \frac{1}{L}(\lambda - \lambda_{start}) \qquad (۳-۱۶)$$

که در آن L شیب خط در قسمت قرارگیری نقطه شار جریان می‌باشد. رابطه فوق به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$I_m = \frac{1}{L}\lambda + K_m \qquad (۳-۱۷)$$

با داشتن مقدار جریان مغناطیس‌کننده در هر مرحله زمانی یعنی I_{start}، جریان مغناطیس کنندگی I_m را بر حسب شار دور هسته محاسبه می‌نماییم:

$$K_m = I_{start} - \frac{\lambda_{start}}{L} \qquad (۳-۱۸)$$

ج - شاخه طرف ثانویه

در این قسمت مقدار مقاومت و اندوکتانس بار را با مقادیر متناظر ثانویه C.T جمع می‌کنیم و داریم:

$$R_s + j\omega L_s = (R_2 + R_{burden}) + j\omega (L_2 + L_{burden}) \qquad (۳-۱۹)$$

که در آن R_2 و L_2 مقادیر مقاومت و راکتانس ثانویه C.T می‌باشند. از طرف دیگر داریم:

$$V = R_s \cdot I_s + L_s \frac{di_s}{dt} \qquad (۳-۲۰)$$

POWEREN.IR

با استفاده از روش انتگرال‌گیری ذوزنقه‌ای همانند رابطه (۱۲-۳) می‌توان نوشت:

$$\frac{\lambda_{new} - \lambda_{old}}{dt} = r_s \left(\frac{I_{s\text{-}new} + I_{s\text{-}old}}{dt}\right) \qquad (۳\text{-}۲۱)$$

PowerEn.ir

رابطه (۲۱-۳) بصورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$I_{s\text{-}new} = C_s \cdot \lambda_{new} + h_{s\text{-}old} \qquad (۳\text{-}۲۲)$$

که در آن:

$$h_{s\text{-}old} = -C_s \cdot \lambda_{old} - d_s \cdot I_{s.old} \qquad (۳\text{-}۲۳)$$

دو ثابت به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$C_s = \frac{1}{L_s + R_s.dt/۲} \text{ و } d_s = C_s \left(\frac{R_s.dt}{۲} - I_s\right) \qquad (۳\text{-}۲۴)$$

حال می‌توان جریان ثانویه را با روش زیر بر حسب جریان اولیه در یک رابطه بدون تکرار بدست آورد.

با جایگذاری مقادیر بدست آمده از روابط پیشین در رابطه (۹-۳) خواهیم داشت:

$$I_p = I_m + I_{Fe} + I_s = \left(C_{Fe} + \frac{۱}{L} + C_s\right)\lambda + (h_{Fe} + K_m + h_s) \qquad (۳\text{-}۲۵)$$

حال با استفاده از رابطه (۲۱-۳) می‌توان شار را بر حسب جریان ثانویه جایگذاری نمود یعنی:

$$I_p = \left(C_{Fe} + \frac{۱}{I} + C_s\right)(I_s - h_s) / C_s + (h_{Fe} + k_m + h_s) \qquad (۳\text{-}۲۶)۲$$

با خلاصه نمودن رابطه فوق خواهیم داشت:

$$I_s = K_۱ \cdot (I_p - h_{Fe} - k_m - h_s) + h_s \qquad (۳\text{-}۲۷)$$

که در آن:

$$K_۱ = \frac{C_s}{C_{Fe} + ۱/L_s + C_s} \qquad (۳\text{-}۲۸)$$

مقادیر h_s و h_{Fe} مربوط به مقادیر پله زمانی قبل یعنی t-dt می‌باشد. پس از محاسبه جریان ثانویه در پله زمانی حاضر از رابطه (۲۷-۳)، بایستی h_s و h_{Fe} جدید نیز محاسبه شوند تا در مرحله بعد مورد استفاده قرار گیرند. شار دور جدید هسته در لحظه کنونی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_s \cdot \lambda_{new} = i_{s\text{-}new} - h_{s\text{-}old} \qquad (۳\text{-}۲۹)$$

با توجه به رابطه (۲۲-۳) می‌توان نوشت:

$$h_{s\text{-}new} = C_c \cdot \lambda_{new} - d_s \cdot i_{s\text{-}new} \qquad (۳\text{-}۳۰)$$

همچنین مقدار جدید h_{Fe} از رابطه زیر با استفاده از رابطه ۵-۲ بدست می‌آید:

$$h_{Fe\text{-}new} = K_{Fe}(C_s \cdot \lambda_{new}) - h_{Fe\text{-}old} \qquad (۳\text{-}۳۱)$$

حال با استفاده از روابط فوق و الگوریتم شبیه سازی زیر می‌توان مقادیر جریان ثانویه را در هر پله زمانی تعیین نمود. ابتدا از مقدار شبیه سازی جریان شبکه منعکس شده به ثانویه، مقدار جریان I_s در

پله حاضر را تعیین می‌کنیم. این محاسبه با داشتن k_m ، h_s و h_{Fe} از پله ماقبل انجام می‌شود.

سپس مقدار شار دور هسته را از رابطه (۲۹-۳) بدست آورده و از طریق آن مقدار جدید h_s و h_{Fe} را با استفاده از روابط (۳۰-۳) و (۳۱-۳) محاسبه می‌کنیم. پس از تعیین موقعیت λ_{new} در منحنی چند تکه‌ای خطی، مقدار k_m را در این پله زمانی تعیین می‌نماییم. در نهایت از این مقدار برای محاسبه کردن جریان ثانویه در پله زمانی بعد استفاده می‌کنیم. روش مذکور دارای دو ایراد اساسی می‌باشد:

۱- میزان تغییرات پلهٔ زمانی[1] انجام شبیه سازی، محدود می‌باشد به این معنا که مقدار d_s در رابطه (۲۳-۳) همواره بایستی مثبت باشد تا جواب نهایی بصورت همگرا درآید؛ یعنی پله زمانی مینیمم در محاسبات، برابر با رابطه (۲۶-۲) است:

$$d_{t\text{-}min} = \frac{2L_s}{r_s} \qquad (۳-۳۲)$$

۲- منحنی چند تکه‌ای خطی جهت آسان نمودن محاسبات مورد استفاده قرار گرفته است و ممکن است در برخی از کاربردهای خاص نظیر تست رله‌های تفاضلی از دقت لازم برخوردار نباشد.

۳- میزان اندوکتانس و مقاومت بار ممکن است همواره ثابت نباشد یا تعیین آن به دقت میسر نباشد لذا بایستی مراحل محاسبه را به نحوی تغییر داد تا بجای استفاده مستقیم از پارامترهای الکتریکی رله از ولتاژ دو سربار[2] استفاده گردد.

۳-۲-۳- شبیه‌سازی زمان واقعی ترانسفورماتورهای جریان با روش ولتاژ بار

همانگونه که ذکر شد با ایجاد تغییراتی در الگوریتم محاسباتی جریان ثانویه با روش زمان واقعی قسمت قبل، که مبتنی بر اندازه‌گیری مقاومت و راکتانس بردن می‌باشد، می‌توان محاسبات را از این پارامترها مستقل نمود. البته اندازه‌گیری ولتاژ بردن بوسیله مبدلهای A/D و سایر تجهیزات، ممکن است محدودیتهایی اضافی در پله زمانی شبیه سازی ایجاد کند. رابطه (۲۱-۳) را می‌توان با استفاده از ولتاژ بار بصورت زیر بازنویسی کرد:

$$\frac{\lambda_{new} - \lambda_{old}}{dt} = \frac{R_2}{2}(I_{s\text{-}new} + I_{s\text{-}old}) + \frac{I_s}{dt}(I_{s\text{-}new}I_{s\text{-}old}) + V_{b\text{-}new} \qquad (۳-۳۳)$$

که در آن $V_{b\text{-}new}$ ولتاژ بار در لحظه زمانی حاضر می‌باشد. با دسته بندی معادله فوق خواهیم داشت:

POWEREN.IR

1- Time Step 2- Burden

$$\frac{\lambda_{new} - \lambda_{old}}{dt} = \left(\frac{R_2}{2} + \frac{L_s}{dt}\right) I_{s\text{-}new} + \left(\frac{R_2}{2} - \frac{L_s}{dt}\right) I_{s\text{-}old} + V_{b\text{-}new} \qquad (۳\text{-}۳۴)$$

در نتیجه داریم:

$$I_{s\text{-}new} = C_s \cdot \lambda_{new} = C_s \cdot \nu \cdot dt + h_{s.old} \qquad (۳\text{-}۳۵)$$

در آن:

$$C_s = \frac{1}{R_s \cdot dt/2 + L_s}$$

و:

$$h_{s\text{-}old} = C_s \cdot \lambda_{old} - d_s . I_{s\text{-}old}$$

الگوریتم کلی محاسبه جریان ثانویه به فرم زیر نوشته می‌شود:

$$I_p = (C_{Fe}.\lambda_{new} + h_{Fe}) + \left(\frac{1}{L}\lambda_{new} + K_m\right) + (C_s\lambda_{new} + h_s) - C_s.\nu_{b\text{-}new}.dt \qquad (۳\text{-}۳۶)$$

$$I_p = \left(C_{Fe} + C_s + \frac{1}{L}\right)\lambda_{new} + (h_{Fe} + h_{Fe} + h_s) - C_s.V_{b\text{-}new}.dt \qquad (۳\text{-}۳۷)$$

با استفاده از رابطه (۳-۳۵) می‌توان نوشت:

$$\lambda_{new} = \frac{i_{s\text{-}new} - h_s + C_s \cdot V_b \cdot dt}{C_s} \qquad (۳\text{-}۳۸)$$

با جایگذاری مقدار λ_{new} از رابطه فوق در رابطه ۳-۳۷ نتیجه می‌شود:

$$I_p = \left(\frac{C_{Fe} + C_s + 1/l}{C_s}\right)(i_{s\text{-}new} - h_s) + (h_{Fe} + h_{Fe} + h_s) + \left(C_{Fe} + \frac{1}{L}\right).V_{b\text{-}new}.dt \qquad (۳\text{-}۳۹)$$

$$i_{s\text{-}new} = \left(\frac{C_s}{C_{Fe} + C_s + 1/l}\right)\left(I_p - h_{Fe} - h_s - k_m - \left(C_{Fe} + \frac{1}{L}\right).V_{b.new}.dt\right) + h_s \qquad (۳\text{-}۴۰)$$

سایر روابط بدون تغییر باقی می‌مانند. الگوریتم محاسبه بر تعیین مقدار ولتاژ بار در لحظه کنونی و سپس بکارگیری آن در تعیین پارامترهای دیگر مقدار معادل استوار است.

۳-۲-۴- شبیه سازی ترانسفورماتورهای جریان با در نظرگرفتن اثر پس‌ماند و روش تقلیل خطی

تفاوت اصلی استفاده از حلقه پس‌ماند در مدلسازی رفتار هسته در ترانسفورماتور جریان، با منحنی چند تکه‌ای خطی آنست که در روش اول، جریان مغناطیس کننده هسته به دو پارامتر میزان شار دور هسته و جهت تغییرات آن بستگی دارد ولی در روش منحنی چند تکه‌ای، میزان جریان در یک نقطه تنها به میزان شار در آن نقطه بستگی دارد. جهت بررسی اثر پس‌ماند در حالات گذرای هسته روشهای متعددی وجود دارد. روش تقلیل نمایی روشی است که در آن مسیر حرکت حلقه خودساز هسته به گونه‌ای تعیین می‌شود که میزان اختلاف آن با منحنی اصلی پس ماند به صورت تابعی نمایی کاهش یابد. به عبارت دیگر در هر نقطه با توجه به آخرین نقطه بازگشت، مقدار ثابت

نمایی و مقدار اولیه رابطه نمایی تغییرات، تعیین شده و سپس با عنایت به آنها، سایر نقاط، بر اساس مسیر تعیین شده مشخص می‌گردند. مقادیر این ثابتها بصورت اطلاعات اولیه باید در اختیار برنامه قرار گیرد. عموماً در شبیه سازی C.Tها به این روش، اطلاعات کامل در دسترس نیست و لذا ممکن است این روش جهت شبیه سازی مناسب نباشد.

PowerEn.ir

بررسی پدیده پس‌ماند از دو جهت اهمیت دارد:

-اثر توأم پس‌ماند و شرایط قطع جریان اولیه در C.T، شار دور پسماندی در هسته ترانسفورماتور ایجاد می‌کند. شار دور پس‌ماندی بر جریان هجومی و خطای ایجاد شده در خروجی ترانسفورماتور جریان تأثیر مستقیم دارد.

- پس‌ماند می‌تواند اثر قابل ملاحظه‌ای بر میراکنندگی حالت گذرا داشته باشد.

میزان تأثیر پس‌ماند بر رفتار الکتریکی C.T از حالتی به حالت دیگر متفاوت است. می‌توان شرایطی را در نظر گرفت که در آن اثر پس‌ماند قابل صرف نظر باشد ولی در برخی موارد از جمله شرایطی که خطای جریان حاصل از جریان هسته C.T قابل صرف نظر نباشد مانند تست رله‌های تفاضلی، این اثر، نقش تعیین کننده‌ای دارد.

حال به توضیح روش مدلسازی پس‌ماند با تقلیل خطی می‌پردازیم. علت انتخاب این روش را می‌توان چنین برشمرد که روش توجیهی قابل تصوری از واقعیت ارائه می‌کند.

فرض کنیم ولتاژ v به ترمینالهای یک القاگر اعمال گردد، خواهیم داشت:

$$I = M \cdot \lambda \text{ و } \frac{d\lambda}{dt} = v - RI \qquad (۳-۴۱)$$

که در آن R مقاومت القاگر، λ شار دور هسته القاگر، I جریان عبوری از آن و M ضریب القایی است. ضریب M به دو عامل اشباع و پس‌ماند که به صورت غیر خطی تغییر می‌کنند ارتباط دارد. همچنین ضریب M به جریانهای گردابی و میزان نفوذ شار در هسته بستگی دارد. می‌دانیم اگر مسیر، شامل مواد هادی الکتریسیته باشد جریان گردابی در آن القا می گردد. این جریانها با تشکیل سریع شار در هسته و افزایش آن مخالفت می‌نمایند در نتیجه می‌توان گفت میزان نفوذ شار در ماده به وسیله جریانهای گردابی تعیین می‌گردد. دامنه جریانهای القایی در هسته C.T به فرکانس جریان عبوری از اولیه آن بستگی دارد؛ یعنی تغییرات جریان مغناطیسی کنندگی هسته و ضریب M تحت تأثیر فرکانس آن می‌باشند.

POWEREN.IR

اگر میزان نفوذ متوسط شار را ثابت در نظر بگیریم رابطه I-λ که ضریب القایی M را مشخص می‌کند بصورت زیر به دست می‌آید:

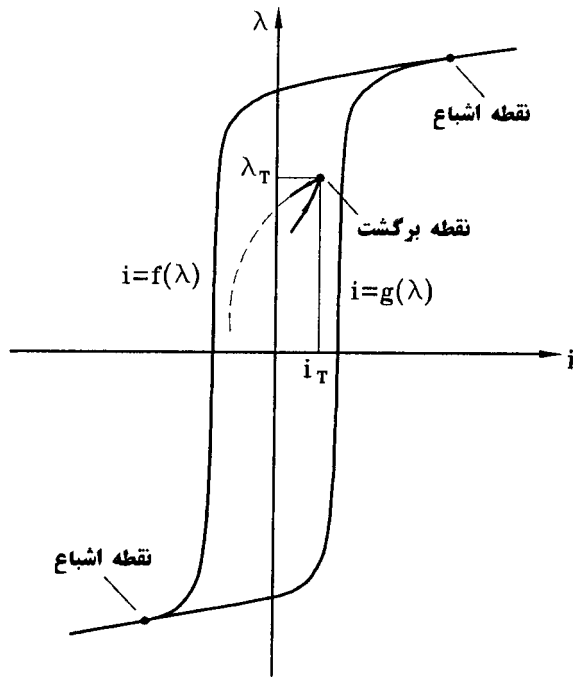
$$I = m\ (\lambda) \qquad (۳-۴۲)$$

که در آن m یک تابع پیوسته است. حلقه پس‌ماند را همواره می توان بـه دو مسـیر مسـتقل بالارونده و پایین رونده تقسیم نمود. مسیر بالا رونده برای حالتی است که شار هسته در مسیر افزایش حرکت می‌کند و دیگری بالعکس برای هنگامی که شار، مسیر کاهشی را می‌پیماید.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

برای بیشتر مواد و از جمله ورقه‌های هسته ترانسفورماتورها می‌توان فرض نمود که مسیر گذر λ-I در هر لحظه بوسیله نقطه بازگشت قبلی مسیر شار یعنی جایی که برای آخرین بار مشتق شـار بـر حسب زمان تغییر علامت داده است، تعیین می‌گردد. به نقطه مذکور نقطه بازگشت می‌گویند.

مسیر حرکت شار بین دو نقطه بازگشت متوالی، مسیری تک مقداری و پـیوسته است. اجـمالاً می‌توان گفت که تحت شرایط فوق، جریان مغناطیس کنندگی هسته تابعی از مقدار شار هسته و نقطه بازگشت است.



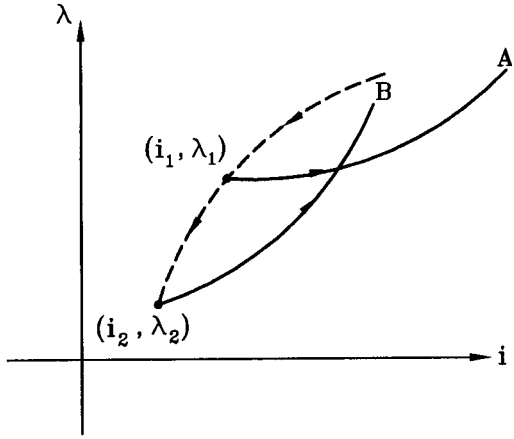
شکل (۳-۱۴): نقاط بازگشت در حلقهٔ خودساز پس‌ماند

POWEREN.IR

بطور مثال فرض می‌کنیم شار دور در مسیر نزولی خط چین در شکل (۳-۱۵) در حرکت است؛ اگر

در نقطه $(\lambda_1 - i_1)$ شار دور شروع به افزایش کند، مسیر صعودی تا هنگامی که سیر افزایشی باقی بماند، از مسیر A خواهد بود. اگر سیر نزولی اولیه تا نقطه $(\lambda_2 - i_2)$ ادامه داشته باشد آنگاه مسیر صعودی B خواهد بود. شکل هر مسیر تنها بوسیله مختصات نقطه بازگشت و حلقه اصلی پس‌ماند تعیین می‌شود.

PowerEn.ir



شکل (۵-۳): مسیر حرکت شار در حلقهٔ خودسازی پس‌ماند

بنابراین می‌توان معادله ولتاژ القاگر را مطابق رابطه (۴۳-۳) بازنویسی نمود:

$$\frac{d\lambda}{dt} = \nu - R.i$$
$$I = U_p^{\,k}(\lambda) \qquad (۳-۴۳)$$
$$I = d_p^{\,k}(\lambda)$$

که در آن:

$U_p^{\,k}$ و $d_p^{\,k}$ توابع پیوسته القایی و λ و I هستند، k به نقطه $(I_k\text{-}\lambda_k)$ اشاره می‌کند که در آن $\frac{d\lambda}{dt}$ آخرین تغییر علامت را داشته است و p به سطح نفوذ شار بستگی دارد.

توابع u و p به آخرین نقطه بازگشتی و سطح نفوذ شار یا به طور غیر مستقیم به فرکانس موج ولتاژ هسته بستگی دارد. بطور کلی داریم:

$$U_p^{\,k} \neq U_q^{\,j} \qquad (۳-۴۴)$$
$$(p = q\ ,\ k \neq j)\quad d_p^{\,k} \neq u_q^{\,j}$$

POWEREN.IR

دسته معادلات ۳۶-۲ رابطه‌ای برای مدلسازی القاگر با در نظر گرفتن اثر پس‌ماند و جریانهای

گردابی ارائه می‌دهد. جهت شبیه سازی و برنامه نویسی بایستی روابط بصورت گسسته نوشته شوند.

- مدل گسسته

PowerEn.ir

مدل القاگر شامل یک معادله دیفرانسیل معمولی و یک معادله جبری است. با استفاده از قاعدهٔ انتگرال‌گیری اولر مرتبه ۲ می‌توان رابطه (۳-۴۲) را به صورت زیر نوشت:

$$\lambda_{n+1} = \lambda_n + h[\nu_{n+1} - r.I_{n+1}) \qquad (۳-۴۵)$$

که در آن λ_n و ν_n و I_n همان مقادیر $\lambda(t_n)$ و $\nu(t_n)$ و $I(t_n)$ هستند و h پله زمانی شبیه سازی است. با استفاده از روابط (۳-۴۲) و (۳-۴۴) خواهیم داشت:

$$\lambda_{n+1} = \lambda_n + h[\nu_{n+1} - r.I_{n+1}] \qquad (۳-۴۶)$$

$$\lambda_{n+1} > \lambda_n \text{ اگر } I_{n+1} = u_p{}^k (\lambda_{n+1})$$

$$\lambda_{n+1} < \lambda_n \text{ اگر } I_{n+1} = u_p{}^k (\lambda_{n+1})$$

در رابطه فوق، k آخرین نقطه بازگشت است که رابطه زیر را برآورده می‌سازد:

$$(\lambda_{k+1} - \lambda_k) \cdot (\lambda_{k+1} - \lambda_k) > 0 \qquad (۳-۴۷)$$

قبل از بیان مراحل محاسبه به ذکر دو فرض انجام شده در این قسمت می‌پردازیم. اول اینکه سطح نفوذ شار و فرکانس ثابت می‌ماند و مقادیر اختلاف آنقدر کوچک است که می‌توان از حلقه DC استفاده نمود. دوم آنکه شاخه‌های پایین رونده و بالارونده مطابق شکل (۳-۱۶) همگرا هستند. در هسته ترانسفورماتور خطوط منحنی داخلی دقیقاً به یک نقطه نمی‌رسند ولی شکل آنها با آنچه در شکل نشان داده شده است، یکسان است.

به علت تقارن حول مرکز مختصات در حلقهٔ پس‌ماند، می‌توان نوشت:

$$y_k(\lambda) = -d_j(-\lambda) \qquad (۳-۴۸)$$

که در آن نقاط بازگشتی k و j متقارن می‌باشند، یعنی $(i_j, \lambda_k) = (-i_j, -\lambda_K)$. به علت فرض اول، زیرنویسهای p حذف شده‌اند.

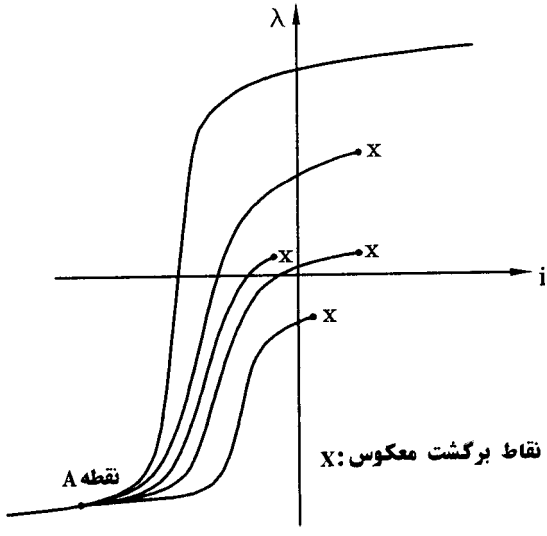
در شکل (۳-۱۷) حلقهٔ پس‌ماند ماکزیمم برای یک القاگر اشباع شونده، بوسیله دو تابع f و g مشخص شده است. تابع $i = f(\lambda)$ برای مسیر نزولی و تابع $i = g(\lambda)$ برای مسیر صعودی اعمال

می‌شوند. این توابع هنگامی که شار دور پس از طی مراحل، از نقطه اشباع مثبت یا منفی می‌گذرد بکار می‌آیند. توابع به طور متقارن به صورت زیر با یکدیگر مرتبط هستند:

PowerEn.ir

$$i = f(\lambda) = -g(-\lambda) \qquad (۳-۴۹)$$

$$i = g(\lambda) = -f(\lambda) \qquad (۳-۵۰)$$



شکل (۳-۱۶): همگرایی تقریبی خطوط هم جهت در حلقه داخلی پس‌ماند

حلقهٔ پس‌ماند ماکزیمم مسیری است که تنها وقتی القاگر وارد اشباع می‌شود پیموده می‌شود. مختصات (λ_t, i_t) نقطه بازگشت کلی را در منطقه غیر اشباع مشخص می‌کند. برای تمامی مقادیر (λ_t, i_t)، بایستی رابطه‌ای براساس حلقهٔ ماکزیمم در مسیر بالارونده و پایین رونده بدست آوریم. این روابط بصورت زیر تعریف می‌گردند:

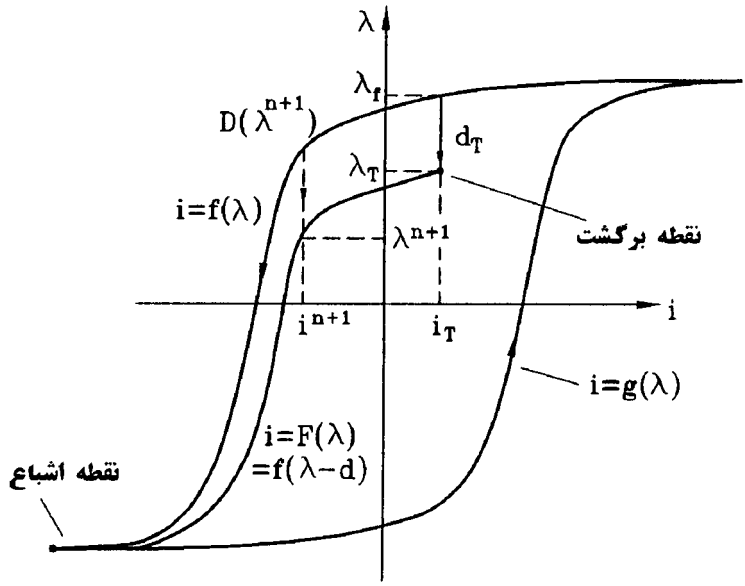
$$i = d_p{}^k(\lambda) = F(\lambda) \qquad (۳-۵۱)$$

$$i = d_p{}^k(\lambda) = G(\lambda) \qquad (۳-۵۲)$$

تابع $i = F(\lambda) = f(\lambda - d)$ را در نظر بگیرید، که در آن d، ثابتی منفی است. تابع F، جابجایی از f را به مقدار d در جهت منفی محور عرضی مطابق شکل (۳-۱۷) نشان می‌دهد.

POWEREN.IR

PowerEn.ir



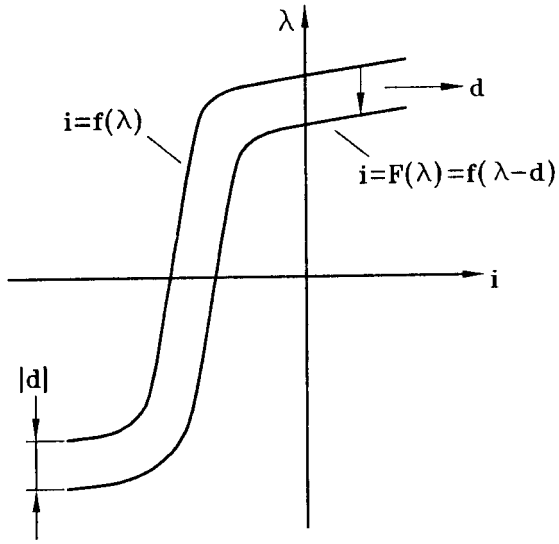
شکل (۱۷-۳): حلقهٔ پس‌ماند و نقاط اشباع در هسته ترانسفورماتور جریان

شاخص افزایش مقدار شار، در جهت محور عرضی است.

برای اکثر مواد، تقریب مناسب برای نقطه‌ای که یک حلقهٔ داخلی به حلقهٔ اصلی می‌رسد، نقطه اشباع است. مقدار جابجایی d ثابت نیست یعنی بطور مشخص باید تابعی از شار در یک نـقطه و میزان شار در نقطه همگرایی یا اشباع باشد. ساده‌ترین تابعی که می‌توان تعریف نمود تابع خطی از تفاضل شار در نقطه حاضر و شار در نقطه اشباع در جهت حرکت می‌باشد یعنی $d = D(\lambda)$؛ که در آن D، تابعی خطی است. اختلاف شار در نقطه بازگشت با شار در نقطه اشباع، ماکزیمم است و به صورت خطی با کم شدن فاصله میان شار دور هسته و نقطه اشباع کاهش می‌یابد تا در نقطه اشباع ایـن اختلاف و جابجایی به صفر برسد.

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۳-۱۸): رابطه توابع F و f

میزان اختلاف اولیه در نقطه بازگشت، از تفاضل شار در این نقطه و شار در نقطه‌ای از منحنی اصلی که جریان مغناطیس کنندگی آن با جریان نقطه بازگشت برابر است، بدست می‌آید. روابط زیر مقدار شار دور توابع f و g را بر حسب I بیان می‌کنند.

$$\lambda = \Lambda_f (i) \qquad (۳-۵۳)$$

$$\lambda = \Lambda_g (i) \qquad (۳-۵۴)$$

شار دور متناظر با جریان مغناطیس کنندگی در نقطه بازگشت برابر است با:

$$\lambda_f = \Lambda_f (i_T) \qquad (۳-۵۵)$$

در نتیجه:

$$d_T = \lambda_T - \lambda_f \qquad (۳-۵۶)$$

میزان جابجایی d در نقطه غیر اشباع و مقدار شار در نقطه اشباع، با رابطه خطی زیر بیان می‌شود:

$$d = D(\lambda) = d_T \left(\frac{\lambda - \lambda_{min}}{\lambda - \lambda_{min}}\right) \qquad (۳-۵۷)$$

برای هر مقدار λ، مقدار λ_d متناظر، از رابطه زیر محاسبه شده و سپس مقدار جریان مربوطه محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_d = \lambda - d \qquad (۳-۵۸)$$

و نهایتاً مقدار جریان در نقطه حاضر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$i = f(\lambda_d) \qquad (۳-۵۹)$$

POWEREN.IR
PowerEn.ir

که در آن:

$$\lambda_d = \lambda - (\lambda_T - \Lambda_f(i_T))\left(\frac{\lambda - \lambda_{min}}{\lambda - \lambda_{min}}\right) \qquad (۳-۶۰)$$

روابط فوق برای مسیر پایین‌رونده نوشته شده است. مسیر بالارونده نیز عیناً دارای همین روابط است با این تفاوت که مقدار d در آن همواره ثابت است. بطور خلاصه الگوریتم محاسبه جریان هسته به شکل زیر است.

۱- ابتدا میزان شار جدید هسته با توجه به مقدار ولتاژ هسته و رابطه انتگرالی بدست می‌آید.

۲- علامت رابطه (۳-۴۳) چک می‌شود.

۳- اگر علامت تغییر یافته باشد نقطه قبلی به عنوان نقطه بازگشت منظور می‌شود.

۴- شار دور متناظر با جریان نقطه بازگشت، روی منحنی اصلی در جهت تغییرات شار هسته محاسبه می‌شود.

۵- مقدار d_T محاسبه می‌شود.

۶- بزای مقدار جدید شار دور، مقدار جابجایی d محاسبه می‌شود.

۷- شار دور تفاضلی λ_d محاسبه می‌گردد.

۸- مقدار جریان هسته برای نقطه جدید با توجه به λ_d بدست می‌آید.

۳-۲-۵- تصحیح روش زمان واقعی جهت در نظر گرفتن اثر پس‌ماند

مطابق آنچه در قسمت ۳-۲-۳ توضیح داده شد، روش زمان واقعی مطرح شده در آن، از منحنی چند تکه‌ای خطی مغناطیس شوندگی هسته استفاده می‌کند. همچنین بیان شد که دقت این محاسبات با منحنی مذکور، بستگی به شرایط استفاده و نوع بار C.T دارد؛ به عبارت دیگر هنگامی که C.T برای حفاظت اضافه جریان یا دیستانس مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطای حاصل از جریان هسته، اثری در انجام آزمایش یا عملکرد رله ندارد ولی هنگامی که حفاظت دیفرانسیلی مطرح می‌شود، این خطا در دو C.T متصل به انتهای حلقه حفاظتی می‌تواند سبب ایجاد خطا در حفاظت یا آزمایش گردد. در این بخش، روش مطرح شده در بخش یاد شده را به منظور در نظر گرفتن اثر پس‌ماند اصلاح می‌نماییم. علت این تغییرات آنست که روابط براساس محاسبه جریان هسته، بصورت رابطه‌ای خطی با شار دور هسته و تعریف پارامتر K_m می‌باشد. جهت وارد نمودن اثر

POWEREN.IR

پس‌ماند بایستی کمیت i_m در رابطه (۳-۲۷) ظاهر گردد. مقدار جریان هسته در این روش شبیه‌سازی، در هر پله زمانی توسط زیر برنامه‌ای مجزا از برنامه اصلی با توجه به میزان شار هسته، جهت تغییرات آن و حلقهٔ اصلی پس‌ماند تعیین شده و در برنامه اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

PowerEn.ir

حال به شرح روابط در این زمینه می‌پردازیم. از رابطه (۳-۹) داریم:

$$I_p = I_s + I_m + I_{fe} \qquad (۳-۶۱)$$

براساس روابط (۳-۱۲) و (۳-۲۱) می‌توان مقادیر I_s و I_{Fe} را جایگذاری نمود و در نتیجه:

$$I_p = (c_s \cdot \lambda_{new} + h_s) + (C_{Fe} \cdot \lambda_{new} + h_{Fe}) + i_m \qquad (۳-۶۲)$$

مقدار شار دور جدید هسته در هر پله زمانی با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\lambda_{new} = \frac{I_{s\text{-}new} - h_s}{C_s} \qquad (۳-۶۳)$$

$$I_p = (C_s + C_{Fe}) \cdot \frac{I_{s\text{-}new} - h_s}{C_s} + h_s + h_{Fe} + I_m \qquad (۳-۶۴)$$

و جریان ثانویه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I_s = \left(\frac{C_s}{C_s - C_{Fe}}\right)(i_p - i_m - h_{Fe} - h_s) + h_s \qquad (۳-۶۵)$$

مقادیر C_s و C_{Fe} در روابط (۳-۲۴) و (۳-۱۴) محاسبه شده‌اند و در اینجا بدون تغییر باقی می‌مانند. همچنین مقادیر h_s و h_{Fe} نیز در هر پله زمانی با روابط (۳-۱۵) و (۳-۲۳) بهنگام می‌گردند. در اینجا با داشتن مقدار i_p در هر پله زمانی و مقادیر h_s و h_{Fe} در پله زمانی قبل و محاسبه i_m با داشتن مقدار شار هسته از رابطه (۳-۲۱)، می‌توان مقدار جدید جریان ثانویه را محاسبه نمود.

نتیجه‌گیری مختصر آنکه روش شبیه‌سازی هسته با استفاده از منحنی اشباع، روشی ساده، لیکن دقت آن کم است و برای مواردی که دقت زیاد موردنیاز نیست می‌توان از آن استفاده کرد. روش زمان واقعی با ولتاژ مصرف i و بدون درنظر گرفتن اثر پس‌ماند نیز کاربردی شبیه استفاده از منحنی اشباع دارد. دو روش اثر پس‌ماند و روش تحلیل خطی و روش زمان واقعی با منظور کردن اثر پس‌ماند، دارای دقت زیادی هستند و برای مواردی نظیر تست رله‌های تفاضلی که به دقت زیاد نیاز است، از آنها استفاده می‌شود. ذیلاً یک نمونه از کاربرد روش زمان واقعی یا منظور کردن اثر پس‌ماند آورده می‌شود.

۳-۲-۶- مثالی از شبیه سازی همزمان ترانسفورماتورهای جریان در حفاظت دیفرانسیل سه فاز

همانطور که در قسمتهای قبل بیان شد با توجه به گروه اتصال ترانسفورماتورهای توان، C.Tهای حفاظت دیفرانسیل دارای اتصالات متفاوتی هستند. جهت حذف مؤلفه صفر جریان

POWEREN.IR

اعمالی به رله تفاضلی و خروجی C.Tها و همچنین جبران اختلاف فاز، جریانهای اولیه و ثانویه دارای اتصال مناسب می‌باشند. مشترک بودن ولتاژ اعمالی به ترانسفورماتورهای جریان از طریق بار مشترک و تأثیر متقابل ترانسفورماتورهای جریان بر یکدیگر خصوصاً از جهت جریان هسته، شبیه‌سازی همزمان ترانسفورماتورهای جریان بهمراه رله یا بار را ضروری می‌نماید. در قسمت ۳-۲-۳ طریقه شبیه سازی ترانسفورماتورهای جریان با استفاده از ولتاژ بار توضیح داده شد. از طرف دیگر روش شبیه سازی C.T با در نظر گرفتن اثر پس‌ماند نیز توضیح داده شد. در شبیه سازی ترانسفورماتور جریان به همراه بار، جهت اختصار و تسریع در محاسبات، از روش ولتاژ بار و اثر پس‌ماند استفاده می‌گردد. با استفاده از روابط (۳-۳۶) تا (۳-۴۵) می‌توان معادلات جریان ثانویه C.Tها را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$I_{s\text{-}newp}=\frac{C_{sp}}{C_{sp}+C_{Fep}}.(I_{p\text{-}newp}-h_{Fe\text{-}oldp}-I_{mp}-h_{s\text{-}oldp})+h_{s\text{-}oldp}+k_p.V_{b\text{-}oldp} \qquad (۳\text{-}۶۶)$$

$$I_{s\text{-}news}=\frac{C_{ss}}{C_{ss}+C_{Fes}}.(I_{p\text{-}news}-h_{Fe\text{-}olds}-I_{ms}-h_{s\text{-}olds})+h_{s\text{-}olds}+k_s.V_{b\text{-}olds} \qquad (۳\text{-}۶۷)$$

که در آن زیرنویسهای s-news و s-newp به ترتیب مربوط به مقادیر ثانویه ترانسفورماتور جریان طرف اولیه و ثانویه حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور توان می‌باشند. قدرت‌های C_{sp}، C_{ss}، C_{Fep}، C_{Fes} همان ضرایب متناظر محاسبه مقادیر جریان و شار C.T می‌باشند که بصورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$C_{sp} = \frac{۱}{l_p + \frac{۱}{۲} r_p.dt} \qquad (۳\text{-}۶۸)$$

$$C_{ss} = \frac{۱}{l_s + \frac{۱}{۲} r_s.dt} \qquad (۳\text{-}۶۹)$$

$$C_{Fep} = \frac{۲}{r_{Fep}} . dt \qquad (۳\text{-}۷۰)$$

$$C_{Fes} = \frac{۲}{r_{Fes}} . dt \qquad (۳\text{-}۷۱)$$

ضرایب مربوط به ولتاژ بار در روابط فوق، مشابه مقادیر متناظر برای سیستم تک فاز به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$K_p = - \frac{C_{Fep} . C_{sp} . dt}{C_{Fep} + C_{sp}} \qquad (۳\text{-}۷۲)$$

$$K_s = - \frac{C_{Fsp} . C_{ss} . dt}{C_{Fes} C_{ss}} + \qquad (۳\text{-}۷۳)$$

ولتاژ بار در واقع ولتاژی است که به ترمینالهای ثانویه C.T اعمال می‌گردد در سیستم حفاظت سه فاز ترانسفورماتور قدرت باتوضیحاتی که قبلاً داده شد مشخص می‌گردد که این ولتاژ به نحوه سربندی ترانسفورماتوریهای جریان در دو طرف بستگی دارد لذا با توجه به گروه و اتصال

PowerEn.ir
POWEREN.IR

ترانسفورماتور توان در برنامه شبیه سازی ولتاژ بار به طور متناظر محاسبه می‌گردد.

پس از محاسبه جریان ثانویه C.Tها، در مرحله اول باید شار هسته را تعیین نمود. این امر برای هر ۶ ترانسفورماتور جریان انجام می‌گیرد. رابطه شار هسته بصورت زیر می‌باشد:

PowerEn.ir

$$\lambda_{new\text{-}p} = \frac{i_{s\text{-}newp} - h_{s\text{-}oldp}}{C_{sp}} + dt \cdot V_{b\text{-}newp} \qquad (۳\text{-}۷۴)$$

$$\lambda_{new\text{-}s} = \frac{i_{s\text{-}news} - h_{s\text{-}olds}}{C_{ss}} + dt \cdot V_{b\text{-}news} \qquad (۳\text{-}۷۵)$$

پس از تعیین میزان شار هسته، جریان مغناطیس کننده هسته نیز توسط زیر برنامه مربوطه و با روشهای بیان شده در بخشهای قبل محاسبه می‌شود. پس از تعیین مقدار جریان ثانویه ترانسفورماتورهای جریان با توجه به گروه اتصال، جریان معادل ثانویه و نهایتاً جریان دیفرانسیل عبوری از رله مشخص می‌گردد. با داشتن این جریان، ولتاژ رله یا بردن تعیین می‌گردد. در این محاسبه از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$V_{b\text{-}newa} = \frac{r_b}{۲} \cdot (i'_{diffa\text{-}new} + i'_{diffa\text{-}old}) + \frac{l_b}{dt} (i'_{diffa\text{-}new} - i'_{diffa\text{-}old}) \qquad (۳\text{-}۷۶)$$

محاسبه ولتاژ بار برای فازهای دیگر نیز انجام می‌شود. ولتاژ اعمالی به ترانسفورماتورهای جریان با توجه به نوع اتصال ترانسفورماتورهای جریان و واسطه[1]، تعیین شده و در مرحله بعد، محاسبات بکار گرفته می‌شود. پس از این مرحله مقادیر h_s و h_{Fe} مجدداً برای مرحله جاری محاسبه شده و بهنگام می‌گردند.

۳-۳- مشخصات ترانسفورماتور جریان و نحوه کارکرد

۳-۳-۱- مقدمه

مشخصات ترانسفورماتورهای جریان با سه فاکتور مشخص می‌شوند:

۱ – ولت آمپر

۲ – دقت

۳ – ضریب ماکزیمم محدوده جریان (k)

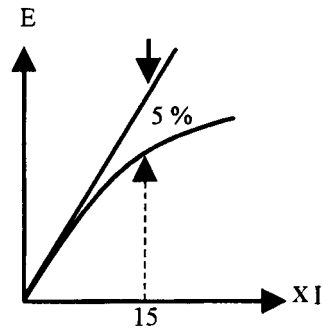
به عنوان مثال ۱۰VA /۵P۱۵، معرف ترانسفورماتور جریان حفاظتی است که مصرف نامی آن ۵

POWEREN.IR

1- Interpose

آمپر بوده و در مصرف نامی می‌تواند ۱۰VA بدهد. و اگر برای مثال رله‌ای که در جریان نامی ۵ آمپر، مصرف آن ۱۰VA باشد به ثانویه وصل گردد، در این صورت ترانسفورماتور جریان خطایی تا ۱۵ برابر جریان نامی را از خود عبور می‌دهد و دقت خود را به میزان ۵٪ حفظ می‌کند. این مطلب در شکل (۱۹ـ۳) نشان داده شده است.

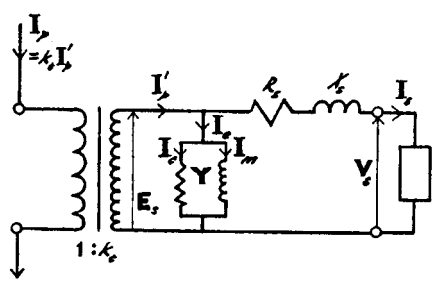
PowerEn.ir



شکل (۱۹ـ۳): منحنی نمایش دهنده خطای ترانسفورماتور جریان با افزایش جریان

۲-۳-۳- دقت ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی [۱]

بطور کلی در اندازه‌گیری جریان ترانسفورماتور جریان، دو خطای دامنه و فاز وجود دارد. خطای دامنه برابر اختلاف دامنه جریانهای معادل اولیه و ثانویه است و از نظر مقدار با مؤلفه جریان تفاضلی هسته در امتداد بردار جریان اولیه برابر است. خطای فاز برابر اختلاف فاز برداری جریانهای اولیه و ثانویه می‌باشد. مدار معادل شکل (۲۰ـ۳) را برای ترانسفورماتور جریان در نظر می‌گیریم. در این شکل جریان مغناطیس کننده با I_m، جریان معادل افت اهمی با I_w، امپدانس اولیه با Z_p، امپدانس ثانویه با Z_s و امپدانس مصرف کننده (رله) با Z_b نشان داده می‌شوند.



شکل (۲۰ـ۳): مدار معادل ترانسفورماتور جریان

POWEREN.IR

در شکل (۲۱-۳)، I_e جریان خطا، I_p جریان اولیه منتقل شده به ثانویه I_s جریان ثانویه است.

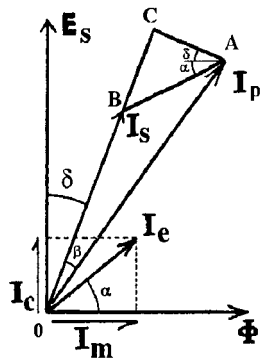
PowerEn.ir

همچنین:

α =زاویه بین I_e , I_m

δ =زاویه بین I_s , E

β =زاویه بین I_s, I_p



شکل (۲۱ـ۳): بردارهای جریانهای ترانسفورماتور جریان

$$I_e = I_m + I_c \qquad (۳-۷۷)$$

بردار I_e، بردار جریان خطاست که تصویر این بردار روی I را خطای دامنه می‌نامند (BC). همچنین تصویر I_e روی خط عمود بر I_s معادل خطای فاز می‌باشد (AC). زیرا در شکل (۲۱-۳)، OA تقریباً با OC برابر است.

$|\vec{I_p}| - |\vec{I_s}| = OA - OB = OC - OB =$ خطای دامنه sc

$OA \approx OC$ چون زاویه β کوچک است

$BC = I_s$ روی I_e تصویر

$AC = I_s$ عمود بر I_e

به علت کوچک بودن زاویه β می‌توان نوشت:

در مثلث OAC همچنین داریم: $\beta \approx \sin\beta$

$$\text{Sin}\,\beta = \frac{AC}{OA}$$

در نتیجه در مثلث ABC داریم:

$$\beta = \text{Sin}\,\beta = \frac{AC}{OA} = \frac{AB\ \text{Cos}(\alpha+\delta)}{OA} = \frac{I_e\ \text{Cos}\ (\alpha+\delta)}{I_p} = \frac{I_e(\text{Cos}\alpha\text{Cos}\delta - \sin\alpha\sin\delta)}{I_p}$$

$$= \frac{I_m \cos \delta - I_w \sin \delta}{I_p} \qquad (۳-۷۸)$$

PowerEn.ir

خطای نسبی زاویه: β

خطای مطلق زاویه: I_q

در اینصورت برای خطای نسبی دامنه و فاز داریم:

$$\text{خطای نسبی دامنه} = \frac{I_p - I_s}{I_p} = \frac{OA - OB}{OA} = \frac{BA}{OA} \qquad (۳-۷۹)$$

$$\text{خطای نسبی دامنه} = \delta \frac{I_e \sin(\alpha+\delta)}{I_p} \qquad (۳-۸۰)$$

$$\text{خطای نسبی فاز} \ \beta = \frac{I_e \cos(\alpha - \delta)}{I_p} \qquad (۳-۸۱)$$

$$I_p = I_s + I_e \sin(\alpha - \delta) \qquad (۳-۸۲)$$

$$\delta = ۰ \Rightarrow \delta = \frac{I_e \sin \alpha}{I_p} = \frac{I_w}{I_p} \quad \text{خطای خیلی کوچک باشد} \qquad (۳-۸۳)$$

معمولاً منظور از خطای ترانسفورماتور جریان، خطای دامنه آن است.

جهت جبران جریان خطا تعداد دورهای ثانویه اندکی کاهش داده می‌شود. به عبارت دیگر مثلاً برای ترانسفورماتور جریان $\frac{۱۰۰۰}{۵}$ که باید جریان اولیه، ۲۰۰ برابر کاهش یابد چنانچه جبران جریان منظور نشود میزان کاهش بواسطه خطاها، بیش از ۲۰۰ برابر خواهد بود. این کاهش، جهت جبران خطای حاصل از جریان هسته صورت می‌گیرد. جبران خاصی برای خطای فاز انجام نمی‌شود ولی به خاطر داریم که مقدار خطای فاز برای بارهای القایی تقریبا ناچیز است. خطای ترکیبی در واقع مجموع خطای فاز و دامنه است و بر حسب درصدی از جریان اولیه معین می‌گردد. اگر منحنی مغناطیس‌شوندگی خطی باشد، جریان خطا همان مقدار I_e است. این‌بردار اثر خطای دامنه، فاز و هارمونیکها را در بر می‌گیرد. از آنجا که امپدانس تحریک خطی نمی‌باشد، جریان تحریک هسته نیز دارای هارمونیک بوده و سبب افزایش خطای ترکیبی می‌گردد. جدول (۱-۳) محدوده خطا را برای

کلاس دقت ۰/۱ تا ۱ مشخص می‌کند.

PowerEn.ir

طبق استاندارد IEC186 [۲] مشخصات کلاسهای دقت مختلف، مطابق جدول (۲ـ۳) می‌باشد. در استانداردهای آمریکایی کلاسهای دقت ۰/۳ ، ۰/۶ و ۱/۲ معرفی می‌شود.

مقادیر ظرفیت خروجی نیز طبق استاندارد IEC بشرح زیر می‌باشد:

۱۰ – ۱۵ – ۲۰ – ۳۰ – ۵۰ – ۷۵ – ۱۰۰ – ۱۵۰ – ۲۰۰ – ۳۰۰ – ۴۰۰ – ۵۰۰ که مقادیر ارجح مقادیری می‌باشند که در زیر آنها خط کشیده شده است.

همانطوریکه در جدولهای (۱ـ۳) و (۲ـ۳) دیده می‌شود دقت مورد نظر در صورتی حاصل می‌شود که بارهای متصل به ترانسفورماتور ولتاژ، محدود به ۲۵٪ تا ۱۰۰٪ ظرفیت خروجی باشد.

اما با توجه به اینکه امروزه وسایل اندازه‌گیری مدرن با مصرف بسیار کم به بازار عرضه شده‌اند، پیشنهاد می‌گردد ظرفیت نامی ترانسفورماتور حداکثر معادل ۱/۵ برابر بار واقعی‌ای که به آن متصل می‌گردد انتخاب شود و حتی در صورت لزوم به منظور اتصال باری معادل بار نامی می‌توان از بارهای مصنوعی [1] استفاده نمود[۵].

جدول (۱-۳) حدود خطا در کلاس دقت ۰/۱ تا ۱

کلاس دقت	درصد خطای جریان به ازای درصدهای متفاوت از جریان نامی			جابجایی فاز به ازای درصدهای متفاوت از جریان نامی به دقیقه		
	از ۱۰ تا ۲۰	از ۲۰ تا ۱۰۰	از ۱۰۰ تا ۱۲۰	از ۱۰ تا ۲۰	از ۲۰ تا ۱۰۰	از ۱۰۰ تا ۱۲۰
	الی شامل ۲۰	الی شامل ۱۰۰		الی شامل ۲۰	الی شامل ۱۰۰	
۰/۱	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱	۱۰	۸	۵
۰/۲	۰/۵	۰/۳۵	۰/۲	۲۰	۱۵	۱۰
۰/۵	۱	۰/۷۵	۰/۵	۶۰	۴۵	۳۰
۱	۲	۱/۵	۱	۱۲۰	۹۰	۶۰

POWEREN.IR

1. Dummy Burden

جدول (۲ـ۳): استاندارد IEC 186 در مشخصات کلاسهای دقت

PowerEn.ir

کاربرد	خطا		حدود ولتاژ	برای بارهای	کلاس
	نسبت‌تبدیل %	خطای‌فاز (دقیقه)	%	۱٪ از بارنامی	دقت
آزمایشگاهها	۰/۱	۵	۸۰ تا ۱۲۰	۲۵ تا ۱۰۰	۰/۱
اندازه‌گیریهای دقیق	۱۰	۰/۲	۸۰ تا ۱۲۰	۲۵ تا ۱۰۰	۰/۲
اندازه‌گیریهای نرمال	۲۰	۰/۵	۸۰ تا ۱۲۰	۲۵ تا ۱۰۰	۱
اندازه‌گیریهای صنعتی	۴۰	۱	۸۰ تا ۱۲۰	۲۵ تا ۱۰۰	۱
ابزار دقیق	—	۳	۸۰ تا ۱۲۰	۲۵ تا ۱۰۰	3P
حفاظت	۱۲۰	۳	۵ تا	۲۵ تا ۱۰۰	3P
حفاظت	۲۴۰	۶	۵ تا	۲۵ تا ۱۰۰	6P

۳-۳-۳- جریانهای حدود دقت در ترانسفورماتورهای جریان

تجهیزات حفاظتی باید در جریانهای بیش از جریان نامی عمل نمایند همچنین ترانسفورماتورهای جریانی که بدین منظور ساخته می‌شوند نیز بایستی از دقت لازم در جریان ماکزیمم خطای عبوری برخوردار باشند. این جریان حد دقت خوانده می‌شود و بر حسب جریان نامی اولیه یا ثانویه بیان می‌گردد.

جدول (۳-۳) محدوده خطا را برای کلاس دقت ۵P, ۱۰P نشان می‌دهد. معمولاً از ترانسفورماتورهای جریان با هسته مشترک برای اندازه‌گیری و حفاظت استفاده می‌گردد. ولتاژ اعمالی به ترانسفورماتور جریان برابر مجموع ولتاژ حاصل از تجهیزات اندازه‌گیری و رله‌های حفاظتی است.

POWEREN.IR

جدول (۳-۳): محدوده خطا برای کلاس دقت ۵P, ۱۰P

POWEREN.IR
PowerEn.ir

کلاس دقت	خطای جریان در جریان‌اولیهٔ نامی (درصد)	جابجایی فاز در جریان نامی (دقیقه)	خطای ترکیبی در محدودیت دقت جریان‌اولیهٔ‌نامی
۵P	±۱	±۶۰	۵
۱۰P	±۳		۱۰
فاکتورهای محدودیت دقت استاندارد، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ هستند.			

۴-۳-۳- طبقه‌بندی ترانسفورماتور جریان از نظر کلاس دقت

الف – ترانسفورماتورهای جریان کلاس x

آنچه در جدول (۳-۳) آمده است جهت کار با رله‌های اضافه جریان مناسب است. مبنای انتخاب ترانسفورماتور جریان می‌تواند منحنی مغناطیس شوندگی آن باشد به عبارت دیگر دقت ترانسفورماتور جریان، با منحنی اشباع و ولتاژ حد تحریک ثانویه مشخص می‌گردد. مکان تعریف شده مطابق استاندارد BS در شکل (۲۱ـ۳) نشان داده شده است.

ب – ترانسفورماتورهای کلاس Y, Z

به علت وجود فاصله هوایی در هسته این گروه ترانسفورماتورهای جریان، مقدار خطای جریان بیشتر است.

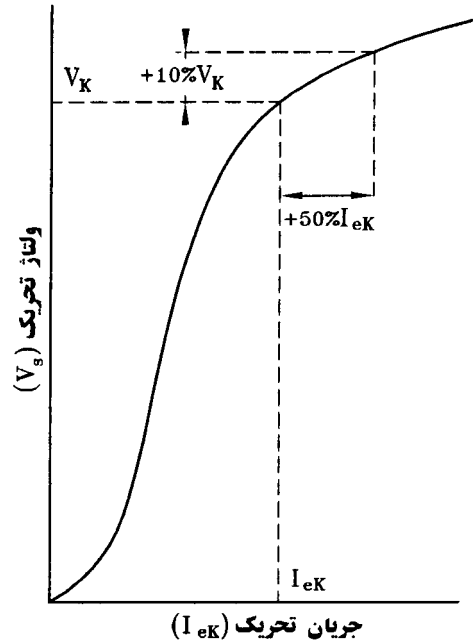
۴-۳- ترانسفورماتورهای ولتاژ حفاظتی [1]

ترانسفورماتور ولتاژ، ترانسفورماتوری است که در آن ولتاژ ثانویه متناسب و هم‌فاز با اولیه بوده و به منظور افزایش درجه بندی اندازه‌گیری ولتمترها،واتمترها و نیز به منظور ایزولاسیون یا جداکردن این وسایل از ولتاژ فشار قوی به کاربرده می‌شود. همچنین از ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ برای رله‌های حفاظتی که به ولتاژ نیاز دارند نظیر رله‌های دیستانس، رله‌های واتمتری و ... استفاده می‌شود. این ترانسفورماتور از نظر ساختمان به دو نوع تقسیم می‌شود [۵و۴]:

POWEREN.IR

1 - Voltage Transformer (VT)

PowerEn.ir



شکل (۲۲ـ۳): موقعیت نقطه زانوی اشباع طبق تعریف BS

الف – ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو[1]

ب – ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی[2]

۱-۴-۳- ترانسفورماتورهای ولتاژ اندوکتیو

در این نوع، ولتاژ نامی فشار قوی مستقیما به ولتاژ مورد نیاز در ثانویه تبدیل می‌شود. همچنین ولتاژ اولیه از مدار اصلی پس گرفته می‌شود و سیم پیچ اولیه بوسیله روغن پر می‌شود. عمده مشخصات این ترانسفورماتورها بقرار زیر است:

الف – ولتاژ اولیه نامی

ولتاژ سیم پیچ اولیه ترانسفورماتوری است که روی صفحهٔ مشخصات طرح می‌گردد.

ب – ولتاژ ثانویه نامی

ولتاژ دو سر سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور است. ولتاژهای ثانویه اسمی استاندارد شده مطابق

POWEREN.IR

1 - Inductive Voltage transformer (PT) 2 - Capacitor Voltage Transformer (CVT)

نشریه IEC 186 به شرح زیر است:

PowerEn.ir

– ۱۰۰ و ۱۱۰ و ۲۰۰ ولت برای اروپا

– ۱۱۵، ۱۲۰، ۲۳۰ ولت برای آمریکا

همچنین مقدار $\frac{۱}{\sqrt{۳}}$ برابر مقادیر ولتاژهای سیم‌پیچی سوم نامی [1] استاندارد و برای سیم‌پیچی‌های خطای زمین در اتصال مثلث باز (V شکل)، مطابق نشریه IEC بکار می‌روند. مقادیر استاندارد عبارتند از:

۱۰۰، ۱۱۰، ۲۰۰ ولت

$\frac{۱۰۰}{\sqrt{۳}}$، $\frac{۱۱۰}{\sqrt{۳}}$، $\frac{۲۰۰}{\sqrt{۳}}$ ولت

مقادیری از اعداد فوق که بیش از همه مورد استفاده‌اند عبارتند از: $\frac{۱۰۰}{\sqrt{۳}}$ و $\frac{۱۱۰}{\sqrt{۳}}$ ولت. نسبت تبدیل (Kn) عبارت است از نسبت ولتاژ اولیه اسمی به ولتاژ ثانویه اسمی.

ج – قدرت خروجی اسمی

قدرت ظاهری است که ترانسفورماتور ولتاژ می‌تواند با ولتاژ ثانویه نامی و با دقت مشخص تغذیه نماید.

د – قدرت خروجی

مساوی است با حاصل ضرب جریان ثانویه و ولتاژی که در دو سر ترمینالهای ثانویه وجود دارد. قدرتهای خروجی نامی استاندارد عبارتند از:

۱۰–۱۵–۲۵–۳۰–۵۰–۷۵–۱۰۰–۱۵۰–۲۰۰–۳۰۰–۴۰۰–۵۰۰ ولت آمپر با ضریب قدرت ۰/۸ در ثانویه.

قدرت خروجی ترانسفورماتور ولتاژ با چند سیم پیچ ثانویه، مساوی مجموع قدرت‌های سیم‌پیچهای ثانویه است.

هـ – قدرت خروجی ماکزیمم

قدرتی است که ترانسفورماتور می‌تواند بطور دائم بدهد بدون اینکه درجه حرارتش از مقدار مجاز بالاتر رود؛ این قدرت روی پلاک قید می‌شود.

POWEREN.IR

1.Tertiary

PowerEn.ir

و - خطای ولتاژ (خطای نسبت تبدیل)

خطای ولتاژ Fu یک ترانسفورماتور ولتاژ برای ولتاژ اولیه مشخص V_1، درصد انحراف ولتاژ ثانویه V_2 از مقدار نامی آنرا نشان می‌دهد و بر حسب درصد از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\%Fu = (Kn \times V_2 - V_1) / V_1 \times 100 \qquad (۳-۸۴)$$

که در آن Kn، نسبت تبدیل ترانسفورماتور ولتاژ می‌باشد.

ز - زاویه خطا (δ_u)

همانند ترانسفورماتور جریان حفاظتی، زاویه خطای یک ترانسفورماتور ولتاژ، جابجائی فاز ولتاژ ثانویه نسبت به ولتاژ اولیه است. فرض می‌شود که در صورت عدم خطا، جابجائی صفر است و در صورتی که ثانویه از اولیه جلو بیافتد مثبت است.

ح - کار در فرکانس غیر از فرکانس نامی

یک ترانسفورماتور ولتاژ طرح شده برای فرکانس ۵۰ هرتز، می‌تواند برای فرکانس ۶۰ هرتز نیز استفاده شود که در آن حالت، قدرتهای خروجی نامی و ماکزیمم بدون تغییر باقی می‌مانند. اگر فرکانس کار بیش از ۲۰٪ اضافه شود، قدرت‌های خروجی اسمی تقریباً بطور معکوس با فرکانس متناسب می‌گردند. یک ترانسفورماتور ولتاژ نباید در فرکانس کمتر از فرکانس نامی به کار گرفته شود.

ط - مدارهای وسایل اندازه‌گیری و شرایط بی‌باری

وقتی که چندین وسیله اندازه‌گیری و وسایل حفاظتی به ثانویه یک ترانسفورماتور ولتاژ وصل می‌شوند، تمام وسایل بایدبه‌صورت‌موازی‌وصل‌گردندتاهمه‌آنهاولتاژ ثانویه را بطورکامل دریافت کنند.

برعکس ترانسفورماتورهای جریان، یک ترانسفورماتور ولتاژ هرگز نباید با سیم پیچ ثانویه اتصال کوتاه شده کار کند. سیم پیچ ثانویه که به هیچ دستگاهی وصل نیست باید همیشه به صورت مدار باز باقی بماند.

ی - حفاظت ترانسفورماتورهای ولتاژ

ترانسفورماتورهای ولتاژ اغلب توسط فیوزهایی که در مدار ثانویه قرار می‌گیرند و یا توسط کلیدهای مینیاتوری که حتی‌الامکان نزدیک ترانسفورماتور هستند محافظت می‌شوند.

ترانسفورماتورهای ولتاژ معمولاً با سوئیچ گیر به کار می‌روند. واحدهای سه فاز عموماً تا ۳۳ کیلو

POWEREN.IR

ولت مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای ولتاژهای بالاتر، واحدهای یک فاز مناسبتر هستند. ترانسفورماتورهای ولتاژ برای ولتاژهای متوسط، دارای عایق خشک بوده و برای ولتاژهای بالا و خیلی بالا در روغن غوطه ور هستند.

PowerEn.ir

ک - عملکرد حالت گذرا در ترانسفورماتورهای ولتاژ

خطای ناشی از حالت گذرا مشکلات بسیار کمی را در کاربرد ترانسفورماتورهای ولتاژ ایجاد می‌کند گرچه در بعضی از این موارد این موضوع صادق نیست. اگر به طور ناگهانی ولتاژی به یک ترانسفورماتور ولتاژ اعمال شود، نوسانات میرایی با دامنه زیاد[1] اتفاق خواهد افتاد که به هر حال این نوسانات به علت چگالی شار کمی که برای VT طراحی می‌شود، کمتر از ترانسفورماتورهای توان حاد است. در لحظهٔ بروز خطا پدیده گذرا در ترانسفورماتور ولتاژ روی خواهد داد و خطایی در چند سیکل اول، متناسب با جریان‌گذرا ظاهر خواهد گشت. زمانی که منبع تغذیه یک ترانسفورماتور ولتاژ قطع می‌گردد، فلوی هسته به آسانی از بین نمی‌رود بلکه سیم پیچ ثانویه تمایل دارد که نیروی مغناطیسی را برای برقراری این فلو حفظ کند که در نتیجه این مسئله، یک جریان دورزننده از طریق بار بوجود می‌آید که کم و بیش بطور نمایی تضعیف می‌گردد و احتمالاً نوساناتی با فرکانس صوتی بر اثر خاصیت خازنی سیم پیچ به آن اضافه می‌شود.

۲-۴-۳- ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی

اندازه ترانسفورماتورهای ولتاژ الکترو مغناطیسی (اندوکتیو) برای ولتاژ بالا بطور قابل توجهی با ولتاژ نامی متناسب است و قیمت آن نیز افزایش می‌یابد. یک راه حل اقتصادی در این شرایط استفاده از ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی است در این نوع ترانسفورماتور ابتدا ولتاژ اولیه با استفاده از تعداد زیادی خازن که از نوع کاغذ با هادی آلومینیوم هستند و بطور سری به یکدیگر متصل شده‌اند، به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و سپس با استفاده از یک ترانسفورماتور ولتاژ کوچکتر، مقدار ولتاژ دلخواه که حدود ۱۰۰ ولت است در ثانویه به دست می‌آید. نکته قابل ذکر اینکه ترانسفوماتور ولتاژ مذکور در داخل یک تانک پر از روغن که در پائین ترانسفورماتور ولتاژ اصلی قرار دارد جا داده می‌شود.

POWEREN.IR

1- Inrush

ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی نسبت به ترانسفورماتورهای ولتاژ الکترومغناطیسی دارای دقت کمتر و قیمت ارزانتری هستند. از نظر ساختمان ،تقسیم کننده‌های ولتاژ خازنی معمولاً از یک تا سه طبقه چینی قهوه‌ای رنگ که روی یکدیگر سوار شده‌اند تشکیل می‌گردند. هر طبقه چینی شامل تعداد زیادی از المانهای خازنی است که بطور سری با یکدیگر قرار دارند. هر کدام از المانها شامل دو لایه آلومینیوم است که توسط چند لایه کاغذ سلولز آغشته به روغن معدنی از هم جدا شده‌اند.

PowerEn.ir

لازم به ذکر است که از ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی در سیستم‌های مخابراتی پست بنام[1] (PLC) نیز استفاده می‌شود. سیستم PLC علاوه بر اینکه جهت ارسال سیگنال به پست مقابل به منظور عمل نمودن رله‌های پست دیگر نیز بکار می‌رود، برای ارتباط تلفنی بین پستها نیز از آن استفاده می‌شود.

تعداد ثانویه ترانسفورماتورهای ولتاژ معمولاً دو عدد در نظر گرفته می‌شود که یکی برای اندازه‌گیری ولتاژ برای استفاده در حالات از بین رفتن تعادل در ولتاژ بین فازها است (اتصال سه فاز به صورت مثلث باز می‌باشد).

- مقایسه ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی و اندوکتیو

الف – در صورت استفاده از سیستم PLC، استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ خازنی به علت جلوگیری از نصب خازن کوپلاژ جداگانه به صرفه است.

ب – در ولتاژ ۶۳ کیلو ولت و بالا ترانسفورماتور ولتاژ خازنی از لحاظ قیمت ارزانتر است و این مزیت با افزایش ولتاژ افزایش می‌یابد.

ج – ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو از لحاظ حرارتی (اضافه بار) بهتر از نوع CVT است.

د – ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو عملکرد بهتری در شرایط گذرا دارد.

۳-۴-۳- انتخاب و رفتار ترانسفورماتور ولتاژ

الف - انتخاب ترانسفورماتور

پارامترهای مهم در انتخاب ترانسفورماتورهای ولتاژ عبارتند از:

– نوع ترانسفورماتورها (خازنی و یا معمولی)

– ولتاژ نامی اولیه و سطوح عایقی

– ولتاژ نامی ثانویه و نسبت تبدیل

POWEREN.IR

1. Power Line Carrier (PLC)

- ضریب ولتاژ
- کلاس دقت و ظرفیت خروجی
- شرایط محیطی و اثر آنها در میزان مجاز افزایش درجه حرارت‌ها

PowerEn.ir

ب - رفتار ترانسفورماتورهای ولتاژ از نوع خازنی

ترانسفورماتورهای ولتاژ از نوع خازنی بایستی قادر باشند تغییرات ولتاژ را در سیستم در اثر اتصال کوتاه، سریعاً در ثانویه خود منعکس نمایند. ویژگی مناسب ترانسفورماتورهای ولتاژ اهمیت بسزائی در عملکرد صحیح و به موقع سیستم حفاظتی دارد. با بروز اتصالی، انرژی ذخیره شده در المانهای خازنی و سلفی ترانسفورماتور، باعث بروز نوسان گذرایی در طرف ثانویه می‌شود که معمولاً ترکیبی از دو فرکانس پایین (۲ تا ۱۵ هرتز) و بالا (در حدود ۱۰۰ تا ۴۰۰ هرتز) است. نوسان فرکانس بالا معمولا به سرعت میرا شده (در حدود ۱۰ میلی ثانیه) ولی نوسان فرکانس کم ممکن است برای مدت بیشتری باقی بماند. دامنه نوسانات زاویه ولتاژ اولیه در هنگام اتصال کوتاه، بستگی زیادی به زمان اتصال کوتاه دارد. از این رو استاندارد IEC توصیه می‌نماید که در صورت اتصال کوتاه در ترمینال ترانسفورماتور، دامنه ولتاژ ثانویه نبایستی بیشتراز ۱۰٪ ولتاژ ثانویه قبل از اتصال کوتاه در طول زمانی معادل یک سیکل (۱۰ میلی ثانیه در فرکانس ۵۰ هرتز) باشد.

یکی دیگر از پدیده‌های گذرا در رفتار ترانسفورماتورهای ولتاژ پدیده فرورزونانس می‌باشد که ممکن است در مدارهایی که شامل خازن و اندوکتانس غیر خطی باشد در اثر اشباع هسته ترانسفورماتور ولتاژ صورت گیرد.

فرورزونانس اصولاً نوعی تشدید (رزونانس) است که در مدارهای سلفی و خازنی سری، با عنصر سلفی دارای هستهٔ آهنی، نظیر مدار بستهٔ سیم‌پیچی سوّم ترانسفورماتورها، روی می‌دهد. در پی بروز رزونانس در مدار و ظهور اضافه ولتاژهای موقت، شرایط اشباع هستهٔ مغناطیسی مدار و اندوکتانس L ظاهر گردیده، پدیدهٔ رزونانس را به فرورزونانس تبدیل می‌کند. بدون وجود مقاومت اضافی بار با تلفات در یک مدار LC، ولتاژ دو سر هریک از المانهای آن می‌تواند از ولتاژ منبع اعمال شده به آنها بزرگتر شود. در فرکانس تشدید، با صرفنظر کردن از تلفات، دامنهٔ واقعی ولتاژها، تابعی از نسبت راکتانس به مقاومت یا Q مدار است. از آنجا که ما اغلب با منابع ولتاژ معمولی سروکار داریم، درجهٔ اشباع آنها و نیز اندوکتانس مغناطیس کنندگی ترانسفورموتورها، بصورت تابعی غیرخطی از ولتاژ و فرکانس تغییر می‌کند. که این تغییرات نیز بر فرکانس تشدید تأثیر می‌گذارد.

POWEREN.IR

اغلب، فرکانس تشدید با فرکانس قدرت متفاوت است و معمولاً بیشتر از فرکانس قدرت می‌باشد. فرکانسهایی در محدودهٔ فرکانسهای رادیویی نیز برای تشدید مشاهده شده‌اند. تشدید ممکن است خود آغاز باشد یا نباشد و در بعضی حالات به یک تحریک ضربه احتیاج دارد. این تحریک می‌تواند یک هارمونیک تولید شده در شبکه باشد.

PowerEn.ir

در نتیجهٔ این پدیده، ممکن است ولتاژهای بزرگی در فاصلهٔ ایزولاسیون قسمتهای مختلف یک شبکه رخ دهد. همچنین ممکن است موجب اشباع شدید هستهٔ آهنی در اثر جریانهای زیاد شود. این پدیده می‌تواند در کلیهٔ مدارهای دارای هستهٔ مغناطیس نظیر سیم‌پیچی ترانسفورماتورها، رآکتورها، ترانسفورماتورهای ولتاژ دارای خاصیت خازنی پراکنده و همراه با خاصیت خازنی کابلها روی دهد.

مسائل:

۱ - یک ترانسفورماتور جریان با یک میله در اولیه و ۳۰۰ حلقه در ثانویه موجود است؛ مقاومت و راکتانس مدار ثانویه آن بترتیب ۱/۵ و ۱ اهم است (شامل مقاومت ترانسفورماتور پراکندگی). بفرض آنکه از ثانویه ۵ آمپر بگذرد و آمپر دور مغناطیسی ۱۰۰ آمپر دور، و افت اهمی هسته ۱/۲ وات باشد، مطلوبست محاسبه خطای جریان و فاز؟

۲ - یک ترانسفورماتور جریانی که اولیه آن یک میله است دارای نسبت تبدیل $\frac{۱۰۰۰}{۵}$ آمپر می‌باشد. امپدانس ثانویهٔ C.T، $Z_s = ۳/۵ + J۰/۳۵\ \Omega$ است. این C.T را به یک رله با امپدانس $Z_r = ۱/۴ + J\ ۲/۴۵$ اهم وصل می‌کنیم؛ اگر آمپر دور مغناطیسی ۹۵ و آمپر دور افت اهمی هسته ۴۷/۵ باشد، مطلوبست:

الف - محاسبهٔ خطای فاز و خطای جریان

ب - میزان جبران نسبت تبدیل بطوریکه خطای جریان به مینیمم مقدار کاهش یابد (یا از بین برود).

ج - اگر مقاومت رله (Zr) ذکر شده در فرض مسئله، امپدانس یک رله جریان زیاد با تنظیم ۵۰٪ باشد و بجای رلهٔ جریان از یک رلهٔ زمین با تنظیم ۱۰٪ استفاده شود، مقدار ماکزیمم جریان مجاز به چه نسبتی کاهش می‌یابد؟

۳ - یک ترانسفورماتور حفاظتی که اولیه آن یک میله و ثانویه دارای ۲۰۰ حلقه است داریم. امپدانس ثانویه رله $۱/۲\Omega + J۰/۵$ اهم می‌باشد و ثانویه C.T دارای مقاومت ۰/۲ اهم و رآکتانس ۰/۳ اهم است. هسته دارای آمپر دور ۱۰۰AT برای جریان مغناطیس کننده و ۵۰ AT برای افت هسته است. مطلوبست:

POWEREN.IR

الف - محاسبه جریان اولیه و خطای جریان وقتی از ثانویه ۵ آمپر عبور کند.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

ب - چه درصدی از تعداد حلقه‌های ثانویه باید کاهش داده شود تا خطای جریان مربوط به این شرایط حذف گردد.

POWEREN.IR

مراجع:

1.A.E. Guil, Paterson, "Electrical Power Systems",Edinburgh: Oliver & Boye, vol.1, 1972.

PowerEn.ir

2.IEC186, "International Electrotechnical Commission".

3.J.R. Lucas, P.G.Mclaren, W.W.L. Keethipala, R.P.Jayainghe, "Improved Simulation Models for Current and Voltage Transformer in Relay Studies", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.7,No.1, January 1992.

4.A.Wright, C.Christopoulos, "Elecrical Power Systems Protection", London: Chapman & Hall, 1993.

۵. احمدی پور-محمود "طراحی پستهای فشار قوی"، وزارت نیرو، گروه تخصصی برق، شهریور ۱۳۶۸.

۶. رحیمی - اصغر، "تهیهٔ نرم‌افزاری شبیه سازی و ایجاد جریانهای دینامیک ترانسهای قدرت و خروجی ترانسهای جریان جهت تست رلهٔ دیفرانسیل با در نظر گرفتن مدل دقیق ترانسهای اندازه‌گیری" پایان نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، ۱۳۷۸.

۷. عسگریان ابیانه - حسین، اصغر رحیمی، "تست رلهٔ دیفرانسیل با مدلسازی دقیق ترانسفورمرهای جریان"، هفتمین کنفرانس برق ایران (کنفرانس دانشگاهی)، مرکز تحقیقات مخابرات، ۲۹-۲۷ اردیبهشت ۱۳۷۸.

۸. عسگریان ابیانه - حسین، اصغر رحیمی، "شبیه‌سازی ترانسهای جریان به روش Real Time با در نظر گرفتن اثر هیسترزیس"، هفتمین کنفرانس مهندسی برق ایران (کنفرانس دانشگاهی)، مرکز تحقیقات مخابرات، ۲۹-۲۷ اردیبهشت ۱۳۷۸.

۹. عسگریان ابیانه - حسین، "طراحی پستهای فشار قوی" دانشگاه پیام‌نور، ۱۳۷۳.

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

PowerEn.ir

فصل چهارم

فیوزها

مقدمه

برای اینکه استفاده از برق به طور صحیح و با ایمنی لازم صورت پذیرد استفاده از وسایل کنترل و حفاظت الزامی است. وسایل کنترل، عمل قطع و وصل مدارها را در زمان دلخواه امکان‌پذیر می‌کنند و وسایل حفاظت در هنگام بروز خطر، مدار را به طور جداگانه قطع می‌کنند. ساده‌ترین وسایل حفاظت، فیوزها هستند. فیوزهای اولیه به صورت سیمهای سربی بود که به طور متوالی با مدار قرار می‌گرفت و در صورت ذوب به اطراف پرتاب می‌شد که خطراتی را در بر داشت. امروزه فیوزها به حد کمال رسیده‌اند و در اماکن مسکونی، تجاری و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای حفاظت وسایل و کابلها علاوه بر فیوزها رله‌های حرارتی، رله‌های الکترومکانیکی و رله‌های القایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند که به کنتاکتورها و دژنکتورها فرمان قطع می‌دهند.

فیوزها سیمهایی از جنس مخصوص با سطح مقطع کوچک هستند که به طور متوالی در مدارهای برقی قرار می‌گیرند. اندازهٔ سیم فیوز را طوری انتخاب می‌کنیم که جریان نامی مدار را بدون ایجاد حرارتی در حد ذوب شدن، تحمل 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 صدمه‌ای به مدار و وسایل وارد نمی‌کند و لزومی به قطع مدار توسط فیوز نیست. لیکن در موارد

POWEREN.IR

اتصال کوتاه، فیوز باید به سرعت عمل کند و مدار را قطع کند.

فیوزها باید دارای ضریب اطمینان بالایی باشند و بعلاوه عمل انتخاب صحیح/انتخاب قطع‌شونده را در حد قابل قبولی تأمین نمایند. لذا باید به نحوی طراحی شوند که لحظهٔ قطع مدار، بسته به مقدار شدت جریان جاری در مدار کاملاً شناخته شده و کنترل شده باشد.

PowerEn.ir

طبیعی است برای طراحی صحیح یک فیوز و رسیدن به منحنی قطع مطلوب، مقدار مقاومت و شکل هادی فیوز، مسأله تبادل حرارتی با خارج، دمای محیط و سایر پارامترها می‌بایست در نظر گرفته شوند که در بخش‌های بعدی به آنها اشاره خواهد شد.

۱-۴- تعاریف و مشخصات فیوزها

۱-۱-۴- جریان نامی و حداقل جریان ذوب عنصر فیوز

جریان نامی فیوز جریانی است که اگر بطور دائم از فیوز عبور نماید، حرارت حاصل از عبور آن باعث افزایش دمای آن از یک حد مشخص نگردد.

این جریان توسط سازنده و با توجه به عمل حرارتی فیوز و نوع کاربرد آن، مشخص می‌شود. جریان نامی فیوز هیچگونه اطلاعاتی در مورد توانایی و قابلیت فیوز بعنوان یک وسیله حفاظتی، ارائه نمی‌دهد.

جریان نامی در یک فیوز جریانی است که می‌تواند به طور نامحدود از فیوز بگذرد بدون آنکه منجر به ذوب فیوز شود.

در استانداردهای اروپایی، فیوزها در آمپرهای نامی از ۲ تا ۱۰۰۰ آمپر معمول هستند. مقادیر جریان نامی استاندارد شده برای این فیوزها به شرح زیر است[۴]:

۲-۴-۶-۱۰-۱۶-۲۰-۲۵-۳۵-۵۰-۶۳-۸۰-۱۰۰-۱۲۵-۱۶۰

۲۰۰-۲۲۵-۲۶۰-۳۰۰-۳۵۰-۴۰۰-۵۰۰-۶۳۰-۸۰۰-۱۰۰۰

حداکثر جریانی که فیوز بدون آسیب رساندن به پایه و حامل خود تحمل می‌کند، قدرت قطع فیوز نامیده می‌شود و برحسب کیلو آمپر اندازه‌گیری می‌شود و گاهی نیز با ضرب این جریان در مقدار ولتاژ مدار، قدرت قطع فیوز را برحسب کیلو ولت آمپر یا مگا ولت آمپر مشخص می‌کنند. در انتخاب فیوز لازم است جریان اتصال کوتاه مدار در محل استقرار فیوز محاسبه گردد و فیوزی که قدرت قطع لازم را دارا می‌باشد انتخاب شود.

POWEREN.IR

برای اینکه عنصر فیوز ذوب گردد، بایستی جریان عبوری از آن، در زمان مشخص و متناسب با

نوع فیوز بیش از جریان نامی باشد تا بر اثر ازدیاد حرارت، ذوب بشود. مینیمم جریان ذوب فیوز[1] طبق تعریف، کمترین جریانی است که باعث ذوب عنصر فیوز می‌شود. این جریان در عمل در عرض چند ساعت (زمان محدود) باعث ذوب فیوز می‌گردد. فاکتور ذوب، رابطه بین حداقل جریان ذوب فیوز و جریان نامی فیوز را بصورت زیر نشان می‌دهد:

POWEREN.IR
PowerEn.ir

$$\text{F.F (fusing factor)} = \frac{\text{مینیمم جریان ذوب فیوز}}{\text{جریان نامی فیوز}}$$

فاکتور ذوب معمولاً بین ۲-۱/۲۵ بوده و بستگی به طراحی فیوز دارد. در عمل، مینیمم جریان ذوب فیوز بستگی به محیطی که فیوز در آن آزمایش شده است و نحوه تعریف زمان بی نهایت (یا حالت دایمی) دارد. تحلیل این جریان برحسب درجه حرارت در قسمت (۶-۴) خواهد آمد. استاندارد IEC برای رفع مشکل فوق، عملکرد دراز مدت یک فیوز را برحسب زمان مرسوم تعریف نموده است. زمان مرسوم یک فیوز زمانی است که فیوز در مینیمم جریان ذوب فیوز عمل قطع مدار را انجام می‌دهد. بالطبع برای فیوزهای بزرگتر و با قابلیت تحمل حرارت‌های بالاتر، زمان مرسوم طولانی‌تر است. استاندارد IEC، زمان مرسوم، برای فیوزهای فشار ضعیف را بصورت جدول (۱ـ۴) دسته بندی کرده است.

۲-۱-۴- مشخصه زمان - جریان

از منحنی زمان - جریان تحت شرایط عملکرد فیوز، مقدار زمانی را که فیوز اجازه عبور جریان مؤثر مورد انتظار را می‌دهد، می‌توان دریافت. نمونه‌ای از این منحنی که در آن زمان ذوب بر حسب جریان مورد انتظار رسم شده است، در شکل (۱-۴) آورده شده است.

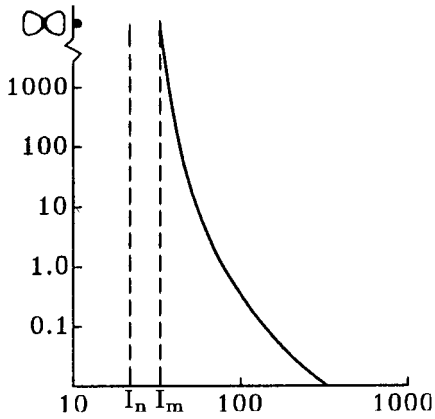
جدول (۱ـ۴): مشخصات جریان نامی و زمان مرسوم برای فیوزها

جریان‌نامی In(A)	زمان مرسوم (H)
In ≤ ۶۳	۱
۶۳< In ≤ ۱۶۰	۲
۱۶۰≤In< ۴۰۰	۳
In > ۴۰۰	۴

POWEREN.IR

1- Minimum Fusing Current (MFC)

PowerEn.ir



شکل (۱ـ۴): نمونه‌ای از منحنی زمان جریان فیوز تحت شرایط عملکرد

اگر جریان گذرنده از فیوز، از مینیمم جریان ذوب فیوز کمتر باشد، شرط پایداری حرارتی دایمی حاصل شده است یعنی مقدار گرمایی که بر اثر عبور جریان در عنصر فیوز بوجود می‌آید، با گرمایی که فیوز به محیط منتقل می‌کند برابر است. این تلفات گرمایی از دو طریق هدایت محوری در طول عنصر فیوز به طرف دو انتها و بوسیله هدایت از طریق ماده پرکننده به بدنه فیوز و سپس بوسیله جابجایی و تشعشع به محیط اطراف منتقل می‌گردد. هنگامیکه جریان عبوری از مینیمم جریان ذوب بیشتر شود گرمای بوجود آمده از گرمای منتقل شونده به محیط اطراف بیشتر خواهد شد و بدنبال آن دمای عنصر فیوز بالا می‌رود و شروع به ذوب شدن می‌کند. با افزایش جریان عبوری، زمان ذوب کاهش پیدا می‌کند، زیرا ضریب حرارتی مقاومت فلز مثبت بوده و با افزایش جریان و افزایش حرارت، مقاومت آن بیشتر شده و انرژی حرارتی متمرکز شده در آن بیشتر می‌شود. برای جریان‌های خیلی زیاد، می‌توان از انتقال حرارت به محیط صرفنظر کرد و کل انرژی ورودی را بصورت ذخیره گرما در عنصر فیوز فرض نمود. مشخصه زمان - جریان طبق شکل (۲-۴) نشان داده شده است. به دلایل زیر در عمل، مشخصه زمان - جریان فیوز دارای تغییراتی است:

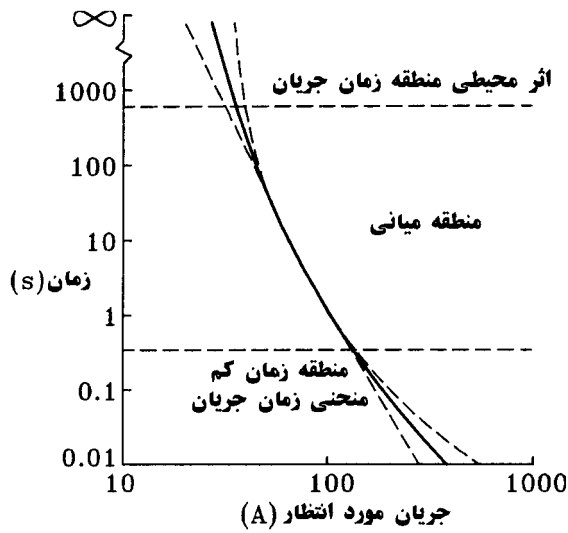
الف - در زمان‌های طولانی، درجه خنک کنندگی محیط اطراف و فاکتورهایی نظیر تهویه، اندازه و اندازه کابل‌ها و شین‌های متصل شده و دمای محیط بر مشخصه زمان - جریان تأثیر می‌گذارند.

ب - در زمان‌های کوچک، زمان ذوب در مقابل ثابت زمانی مدار قابل چشم پوشی نیست و زمان ذوب برای یک جریان مشخص بعلت وابسته بودن به ثابت زمانی مدار تغذیه و در مورد مدارهای جریان متناوب به علت وابسته بودن به نقطه‌ای از شکل موج ولتاژ تغذیه که به مدار اعمال می‌گردد،

POWEREN.IR

می‌تواند تغییرات زیادی داشته باشد.

PowerEn.ir



شکل (۲ـ۴): منحنی مشخصهٔ زمان جریان فیوز و تغییرات آن

یک فیوز به گونه‌ای طراحی می‌گردد که به ازای جریان خطای مشخص و در زمان مشخص، ذوب گردد. مشخصه جریان – زمان یک فیوز (TCC)[1] با دو منحنی مشخص می‌گردد:

ـ منحنی حداقل ذوب یا MMT[2]

ـ منحنی حداکثر زمان رفع خطا یا MCT[3]

منحنی MMT، حداقل زمان ذوب شدن یک فیوز، برحسب جریان لازم را مشخص می‌کند.

منحنی MCT، حداکثر زمان رفع خطا و خاموش شدن قوس را مشخص می‌کند. شکل (۳ـ۴) مشخصه MCT و MMT نوع فیوز موسوم به فیوز 10K را نشان می‌دهد. این فیوز یک فیوز تندسوز بوده که در بخش بعدی راجع به آن صحبت خواهد شد. همانطور که ملاحظه می‌شود، فاصله زمانی بین دو منحنی مربوط به ظهور و قطع قوس، بعد از ذوب شدن فیوز است.

همچنین ممکن است اطلاعات مشخصهٔ فیوزها بجای منحنی، بصورت جدول داده شود. نمونه‌ای از این اطلاعات در جدول (۲ـ۴) آمده است.

1- Time - Current Characteristic

2- Minimum Melting Time (MMT)

3- Maximum. Clearing Time (MCT)

POWEREN.IR

(جدول ۲ـ۴): حداکثر و حداقل زمان قطع فیوزها

جریان اسمی	جریان آزمایش ۲/۵I				جریان آزمایش ۳I				جریان آزمایش ۴I			
	سریع		تاخیری		سریع		تاخیری		سریع		تاخیری	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
۲	۰/۱	–	۴	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۴	۰/۲	–	۵	–	–	–	–	–	–	–	–	–
۶	۰/۲	۷	۱۵	۱۲۰	۰/۰۸	۱/۶	۳	۲۰	۰/۰۲	۰/۳	۰/۶	۲/۵
۱۰	۰/۳	۸/۵	۱۶	۱۲۰	۰/۱۲	۲/۲	۳/۵	۲۳	۰/۰۴	۰/۵۵	۰/۹	۳/۶
۱۶	۰/۳۵	۹	۱۷	۱۲۰	۰/۱۴	۲/۵	۴	۲۸	۰/۰۵	۰/۵۵	۱/۱	۴
۲۰	۰/۳۵	۱۰	۱۹	۱۳۰	۰/۱۵	۲/۸	۶	۳۴	۰/۰۷	۰/۸	۱/۳	۴/۵
۲۵	۰/۶	۱۲	۲۲	۱۴۰	۰/۲۵	۳/۵	۸	۳۴	۰/۱۰	۱/۱	۱/۸	۶/۱
۳۵	۱	۱۶	۲۵	۱۵۰	۰/۴	۵/۶	۸	۴۰	۰/۱۳	۱/۴	۲	۶/۱
۵۰	۱/۲	۲۰	۲۵	۱۵۰	۰/۵	۷	۱۰	۴۰	۰/۱۸	۱/۸	۳	۹
۶۳	۱/۵	۲۴	۲۵	۱۵۰	۰/۶	۸	۱۰	–	۰/۲	۲	۳	۹
۸۰	۲/۵	۳۴	۳۵	۱۸۰	–	–	–	–	۰/۲۵	۲/۵	۳/۶	۱۱
۱۰۰	۳	۴۰	۴۱	۲۱۰	–	–	–	–	۰/۳	۳	۴	۱۳
۱۲۵	۴	۴۶	۴۸	۲۵۰	–	–	–	–	۰/۴	۴	۴/۸	۱۵
۱۶۰	۵	۵۵	۵۷	۳۰۰	–	–	–	–	۰/۵	۴/۵	۵/۵	۱۸
۲۰۰	۶/۵	۶۵	۶۷	۳۶۰	–	–	–	–	۰/۵۵	۵	۶/۳	۱۹

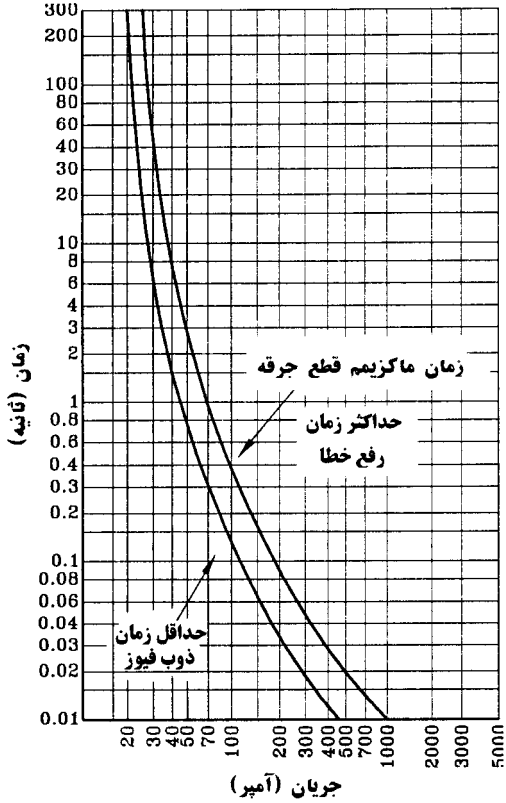
POWERENIR
PowerEn.ir

۳ـ۱ـ۴ـ مزایای فیوز

الف – خود فیوز به تنهایی در مقایسه با انواع دیگر تجهیزات حفاظتی، خیلی ارزان‌تر است.

ب – به تجهیزات کمکی مانند منابع تغذیه جریان مستقیم و عملکردهای موتوری و رله‌های حفاظتی نیاز ندارد.

PowerEn.ir



شکل (۳ـ۴): مشخصه *MCT* و *MMT* فیوز *10k*

ج – هزینه نصب آن بسیار پایین می‌باشد.

د – فضای کمی اشغال می‌کند بصورتی که بر روی هر پایه نگهدارنده‌ای قابل نصب است.

هـ – به‌ندرت نیاز به نگهداری دارد، به استثناء محیط‌های با آلودگی شدید که نگهداری، منحصر به تمیز کردن گاه به گاه سطوح آن می‌باشد.

و – امکان قطع سریع جریان توسط فیوزهای نوع محدود کننده جریان، قبل از رسیدن جریان به

مقدار موردانتظار، وجود دارد.

PowerEn.ir

۴-۱-۴- معایب فیوز

الف – عوامل محیطی مانند باران، برف و یخ و همچنین آلودگی (فقط در مورد فیوزهای خارجی) بعضاً می‌توانند در کار این فیوزها اخلال نمایند.

ب – فیوزها از تجهیزات حفاظتی دیگر مانند رله‌ها و ... فرمان نمی‌گیرند و در حقیقت عملکرد آنها خارج از کنترل می‌باشد. این امر سبب ضعف حفاظت در مقابل خطاهای با جریان کم توسط فیوزها می‌شود.

ج – هماهنگ کردن فیوزها با سایر تجهیزات حفاظتی مشکل است.

د – تغییر مشخصه فیوز براثر فاکتورهای مختلف وجود دارد.

ه – احتمال دو فاز شدن سیستم وجود دارد.

۴-۲- تقسیم بندی فیوزها به لحاظ عملکرد[۱]

فیوزها به لحاظ عملکرد به دو نوع کندسوز (T) و تندسوز (K) و یا ترکیبی از این دو نوع تقسیم می‌شوند. فیوزهای تندسوز برای جریانهای حاصل از اتصال کوتاه و جریانهایی که بایستی سریعاً قطع گردند، مناسب می‌باشند. فیوزهای کندسوز جهت قطع جریانهای اضافی حاصل از اضافه بار زیاد مناسب هستند. با این تفاوت که جریانهای اضافی حاصل از کلیدزنی و اتصال کوتاه زودگذر نیز عمل نمی‌کنند. اما خطاهایی را که دامنه‌ای به مراتب کمتر از جریان اتصال کوتاه دارند، در زمان بیشتری قطع می‌نمایند. اختلاف بین این دو، براساس زمان ذوب و «نسبت سرعت» که با رابطه زیر مشخص می‌گردد، می‌باشد:

$$\text{نسبت سرعت}^{1} = \frac{\text{جریان ذوب در ۰/۱ ثانیه}}{\text{جریان ذوب در ۳۰۰ یا ۶۰۰ ثانیه}} \qquad (۴\text{-}۱)$$

در رابطه فوق، مقادیر ۰/۱ و ۳۰۰ ثانیه برای فیوزهایی از ۶ تا ۱۰۰ آمپر و مقادیر ۰/۱ و ۶۰۰ ثانیه برای فیوزهای ۱۴۰ تا ۲۰۰ آمپر می‌باشد.

با توجه به مشخصات جریان – زمان این فیوزها، نسبت سرعت برای فیوزهای نوع K بین ۶ تا ۸

1- Speed Ratio

و برای فیوزهای نوع T، بین ۱۰ تا ۱۳ می‌باشد.

شکل (۴ـ۴) مشخصه MMT مربوط به فیوز ۱۵ آمپری کندسوز (۱۵T) و تندسوز (۱۵K) را نشان می‌دهد.

PowerEn.ir

شکل‌های (۴ـ۵) و (۴ـ۶) مشخصه MMT و MCT فیوزهای نوع T و شکل‌های (۴ـ۷) و (۴ـ۸) مشخصه‌های MMT و MCT فیوزهای نوع K را نشان می‌دهد.

با بهره‌گیری از ساختمانی ویژه، می‌توان از فیوزی استفاده کرد که همانند یک وسیله حفاظتی هوشمند عمل نماید. بدین معنا که قادر باشد هم از مزایا و مشخصات فیوزهای تندسوز و هم از مشخصات فیوزهای کندسوز استفاده و بصورت ترکیبی از آنها عمل نماید. بطور مثال این فیوز می‌تواند جریان‌های اضافه بار ترانسفورماتور را که بصورت تدریجی افزایش می‌یابد و همچنین جریان‌های اتصال کوتاه ترانسفورماتور و شبکه فشار ضعیف را همزمان کنترل نموده و از سوختن بی‌جهت فیوز جلوگیری نماید.

علاوه بر فیوزها نوع K و T نوع دیگری از فیوزها به نام فیوزهای نوع H[1] وجود دارند. فیوزهای نوع H برای مقادیر نامی تا ۸ آمپر استاندارد شده‌اند و به صورت خاصی جهت حفاظت اضافه بار و پرهیز از عملکرد بی‌موقع در زمانهای کوتاه راه‌اندازی موتورها و یا جریانهای هجومی در ترانسفورماتورها و موتورها بکار می‌روند. شکل (۴ـ۹) مشخصه MMT فیوزهای نوع H را نشان می‌دهد [۴].

۴ـ۳ـ انواع فیوزها بلحاظ ساختمانی

فیوزها از نظر ساختمانی انواع مختلفی دارند که اجمالاً به بعضی از آنها در ذیل اشاره می‌شود[۹و۱]:

- فیوزهای معمولی
- فیوزهای تأخیری
- فیوزهای با جزء ذوب شوندهٔ دو قسمتی

۴ـ۳ـ۱ـ فیوزهای معمولی

این فیوزها محصور و ایمن هستند و از سه قسمت تشکیل شده‌اند؛ قسمت اول پایهٔ فیوز است که

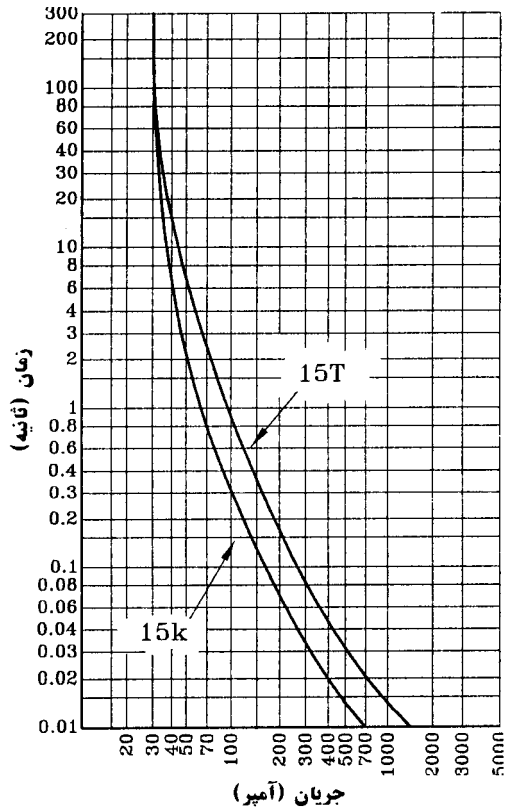
POWEREN.IR

1- Huge Surge Links

روی تابلو نصب می‌شود و سیمهای مدار به دو طرف آن متصل می‌شوند؛ قسمت دوم حامل جزء ذوب‌شونده است که در داخل پایهٔ فیوز قرار می‌گیرد و بالاخره قسمت سوم جزء قطع‌شونده است که از یک سیم ساده و یا از یک استوانه که فلز ذوب شونده را در بر دارد، تشکیل می‌شود.

PowerEn.ir

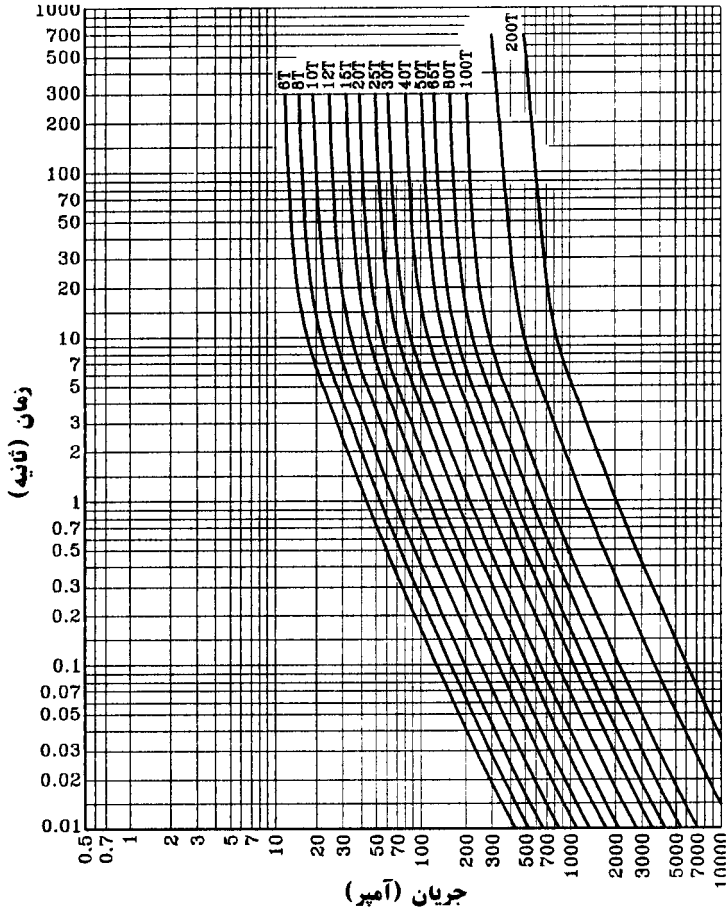
گاهی هم جزء ذوب شونده به جای استوانه در داخل محفظه‌ای به شکل فشنگ محصور می‌شود و فیوز فشنگی نامیده می‌شود. مزیت مهم فیوزهای فشنگی در این است که در فیوزهای بدون محفظهٔ فشنگی، گرم و سرخ شدن سیم ممکن است سبب ایجاد حریق گردد در حالی که در فیوزهای با جزء ذوب شوندهٔ محصور، این احتمال خیلی پایین است.



شکل (۴ـ۴): مشخصه *MMT* دو فیوز ۱۵*T* و ۱۵*K*

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۵ـ۴): مشخصه *MMT* فیوزهای نوع *T*

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 قرار می‌گیرند. این فیوزها در مصارف خانگی به ندرت استفاده می‌شوند و فیوزهای سیمی معمولی مورداستفاده قرار می‌گیرند.

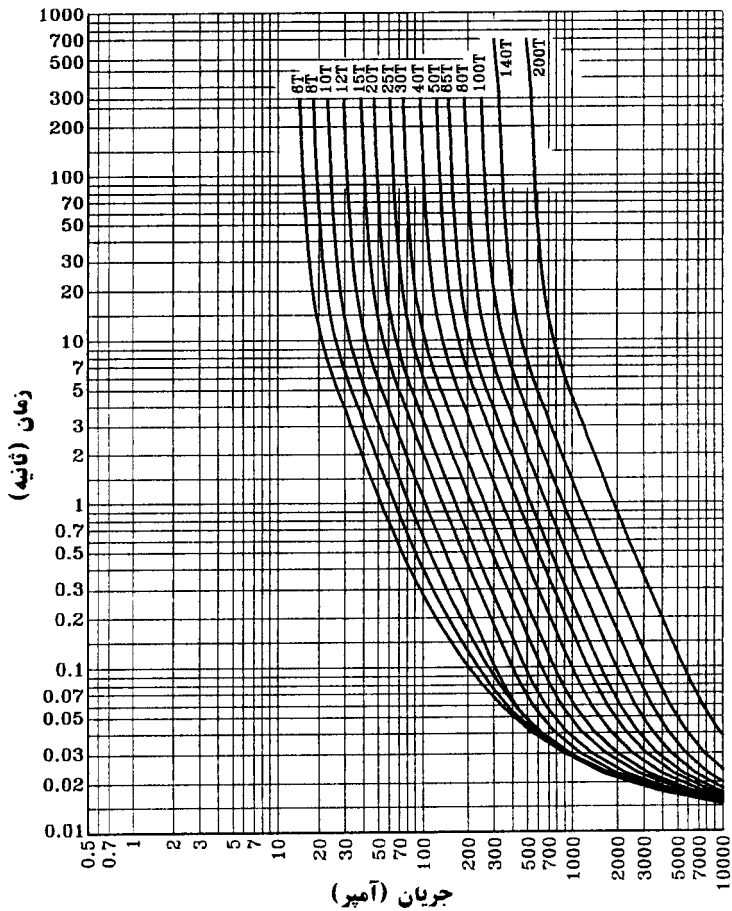
۲ـ۳ـ۴ـ فیوزهای تأخیری

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 بیشتری لازم است. یکی از این

موارد، فیوز محافظ مدار موتورهای برقی است که در آنها باید مانع سوختن فیوز در طی دورهٔ راه‌اندازی شد. در این گونه موارد از فیوزهایی با ساختمان مخصوص استفاده می‌کنند که به آنها فیوزهای تأخیری گفته می‌شود. این فیوزها دارای ساختمانی متفاوت با فیوزهای معمولی هستند و طوری ساخته شده‌اند که جرقه زدن به حداقل برسد.

PowerEn.ir

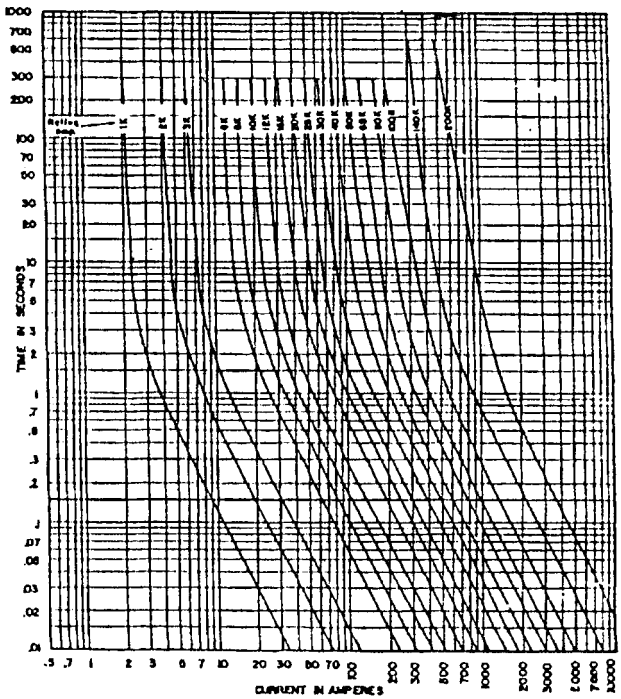
ساختمان تیغه یا نوار ذوب شونده این فیوزها مطابق شکل (۱۱ـ۴) است.



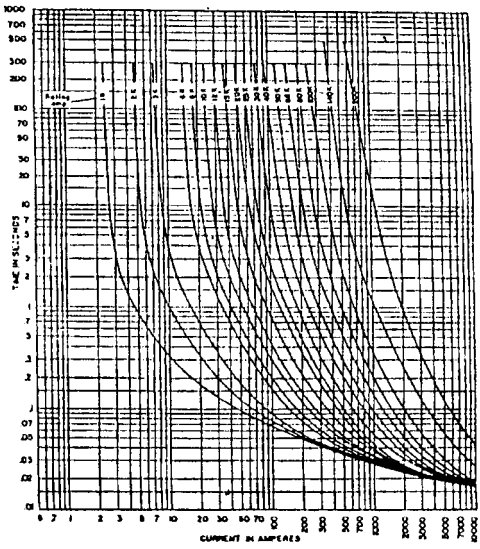
شکل (۶ـ۴): مشخصه MCT فیوزهای نوع T

POWEREN.IR

PowerEn.ir



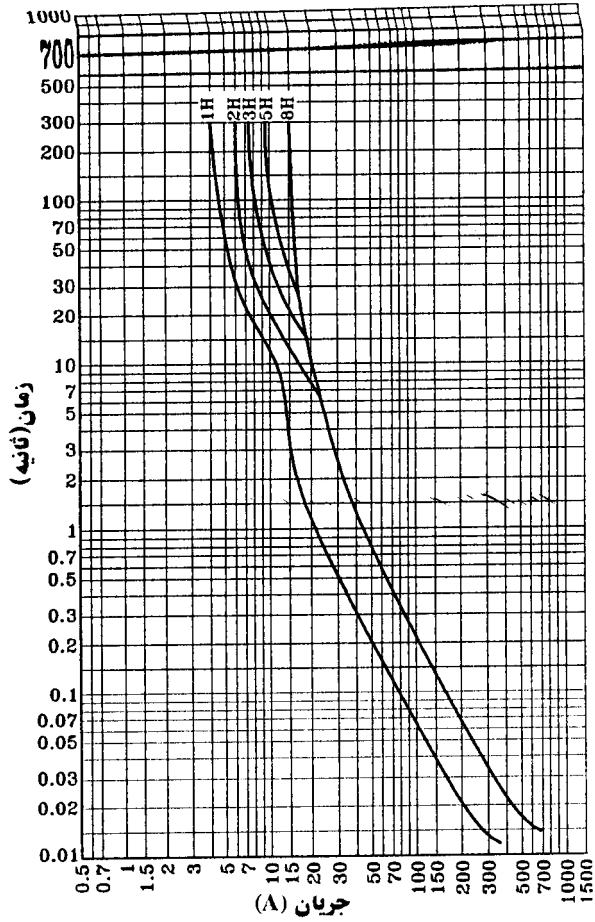
شکل (۷ـ۴): مشخصه *MMT* فیوزهای نوع *K*



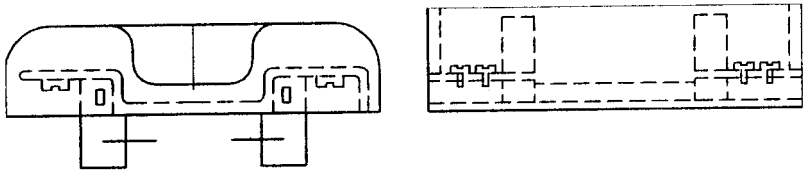
شکل (۸ـ۴): مشخصه *MCT* فیوزهای نوع *K*

POWEREN.IR

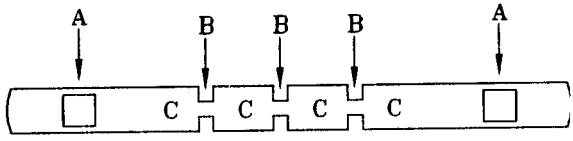
PowerEn.ir



شکل (۹ـ۴): مشخصه *MCT* فیوزهای نوع *H*



شکل (۱۰ـ۴): ساختمان داخلی فیوز معمولی



شکل (۱۱ـ۴): ساختمان فیوزهای تأخیری

POWEREN.IR

حرارتی که بعلت 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 بدست نمی‌آورند.

PowerEn.ir

بنابراین ملاحظه می‌کنید که این فیوز در مقایسه با فیوزی که از نواری با عرض یکسان B ساخته شده است با تأخیر بیشتری عمل می کند. همچنین تعداد قسمتهای دارای عرض کم را بسته به ولتاژ انتخاب می‌کنند بطوری که جرقه زدن به حداقل برسد.

۳-۳-۴- فیوزهای با جزء ذوب شوندهٔ دوقسمتی

فیوز سریع از نظر حفاظت در مقابل اتصال کوتاه بسیار مناسب است لیکن اضافه‌بارهای کوچک کوتاه مدت هم باعث قطع بی‌جهت آن می‌گردند. فیوزهای تأخیری با اضافه بارهای کوچک کوتاه مدت عمل نمی‌کنند 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 ذوب‌شوندهٔ آنها از دو قسمت متوالی تشکیل شده است؛ یک قسمت آن تأخیری است و حفاظت در مقابل اضافه‌بار را عهده‌دار است و قسمت دیگر سریع است که جریانهای زیاد اتصال کوتاه را در کمتر از یک دورهٔ تناوب جریان قطع می‌کند. این فیوزها برای محافظت موتورها، ترانسفورماتورها و سیم‌پیچهای رله‌ها و کنتاکتورها مناسب هستند و جریان شروع بالا سبب قطع آنها نمی‌گردد.

۴-۴- انواع فیوزها به لحاظ محدود کنندگی جریان[۹و۷]

۱-۴-۴- فیوزهای محدود کننده جریان[1]

فیوزهای محدود کننده جریان کاربرد وسیعی در حفاظت از تاسیسات برقی در مواردی که هدف محدود کردن پیک جریان اتصال کوتاه جهت جلوگیری از صدمات ناشی از اثرات حرارتی و مکانیکی می‌باشد، دارند. این فیوزها بخصوص در سیستم‌هایی با جریان اتصال کوتاه، کاربرد زیادی دارند. کاربرد این فیوزها سبب کاهش هزینه‌های خرید تجهیزات و هادیهای مربوطه می‌شود.

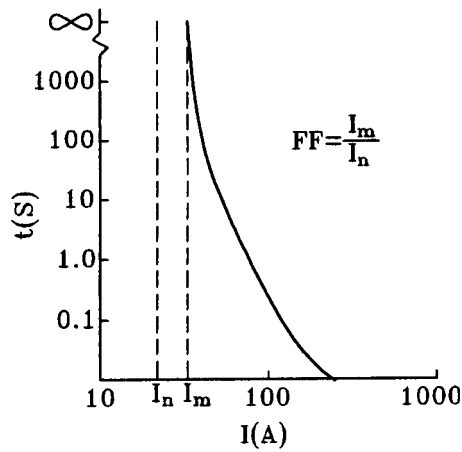
شکل (۱۲-۴) نشان دهنده مشخصهٔ زمان - جریان یک نوع فیوز محدود کننده جریان است.

POWEREN.IR

1- Current Limiting Fuses

PowerEn.ir

همانطوریکه از نمودار فوق مشهود است، این فیوز دارای خاصیت محدود کنندگی جریان اتصال کوتاه است، بدین معنا که هنگامیکه انرژی مورد نیاز جهت ذوب عنصر فیوز فراهم گردد، دمای عنصر فیوز تا دمای نقطه ذوب آن بالا می‌رود و مدار شروع به ذوب شدن می‌کند. این شرایط معمولاً با توجه به مقدار زمانی فیوز مورد استفاده در این میزان انرژی، قبل از رسیدن به دامنه موردانتظار جریان اتفاق می‌افتد؛ فیوز قطع شده و مدار را از اثرات حرارتی و مغناطیسی و تنش‌های مکانیکی ناشی از دامنه موردانتظار (پیک) جریان محفوظ می‌دارد. جریان مورد انتظار جریانی است که در صورت نبودن فیوز از مدار عبور می‌نماید و در نمودار فوق به شکل خط چین نشان داده شده است. بعد از وقوع خطا، جریان عبوری باعث عملکرد فیوز خواهد شد. همانطور که در شکل مشخص است دو ناحیه زمانی را می‌توان منظور داشت: زمان پیش از جرقه‌زنی (که همان زمان ذوب است) و زمان قطع فیوز.

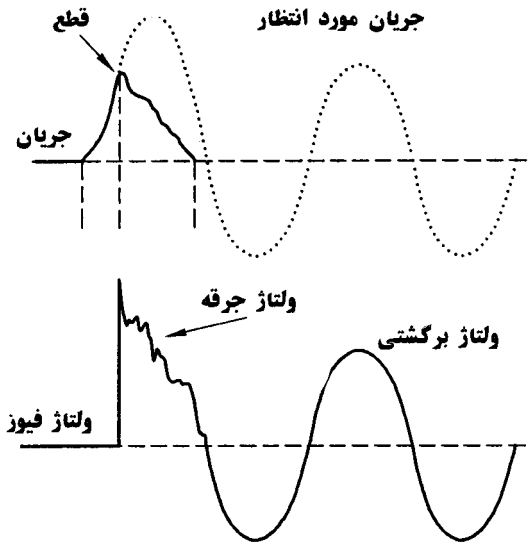


شکل (۱۲ـ۴): مشخصه زمان - جریان در فیوز محدودکننده جریان

پس از ذوب شدن عنصر فیوز، جریان قطع شده و قوس الکتریکی بین دو انتهای باز شده عنصر فیوز بوجود می‌آید. این مرحله همراه با یک افزایش قابل توجه در ولتاژ دو انتهای فیوز می‌باشد که علت آن ظهور ناگهانی قوس است. در طول زمان ذوب ممکن است که یک افزایش ناچیز در ولتاژ فیوز مشاهده شود. چون بهنگام قوس الکتریکی، جریان خیلی بالاست، بالطبع افزایش درجه حرارت هم قابل توجه خواهد بود و این حالت در اثر تغییر ولتاژ در اثر تغییر مقاومت اهمی عنصر، به وجود می‌آید.

شکلهای (۱۳-۴) و (۱۴-۴) منحنی‌های جریان و ولتاژ در شرایط اتصال کوتاه را به ترتیب برای مؤلفه‌های متناوب و مستقیم نمایش می‌دهند. همانطوریکه مشخص است، فیوز، جریان را قبل از رسیدن به پیک قطع می‌نماید.

PowerEn.ir

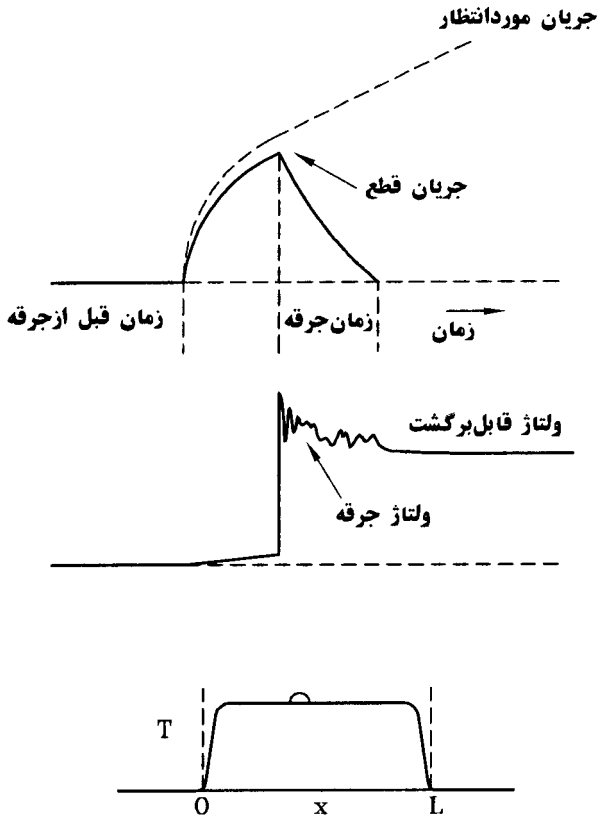


شکل (۱۳ـ۴): منحنی جریان و ولتاژ متناوب فیوز

نمودارهای (۱۵-۴) و (۱۶-۴) نشان دهنده جریان‌های مورد انتظار در حالت اضافه بار به ترتیب برای مدارهای جریان متناوب و مستقیم هستند. کوچک بودن جریان‌های عبوری، ایجاد حرارت کمتر و افزایش زمان ذوب را در پی خواهد داشت و ممکن است که زمان ذوب زیادی را در حدود چند ساعت ایجاد نماید. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، زمان قوس الکتریکی در مقابل این زمان، قابل صرفنظر کردن است و طبق نمودارهای (۱۴ـ۴) و (۱۵ـ۴) ممکن است قبل از اینکه عمل قطع صورت گیرد، تعداد بسیار زیادی نیم سیکل جریان متناوب مورد نیاز باشد. بنابراین در چنین حالاتی که جریان کم باشد قطع جریان خطا بسیار طولانی خواهد شد و از این رو این خاصیت فیوز باعث می‌شود که برای فیوزها دسته بندی خاصی بر حسب عملکرد یعنی تندسوز و یا کندسوز بودن و یا ترکیبی از آنها صورت پذیرد.

POWEREN.IR

PowerEn.ir

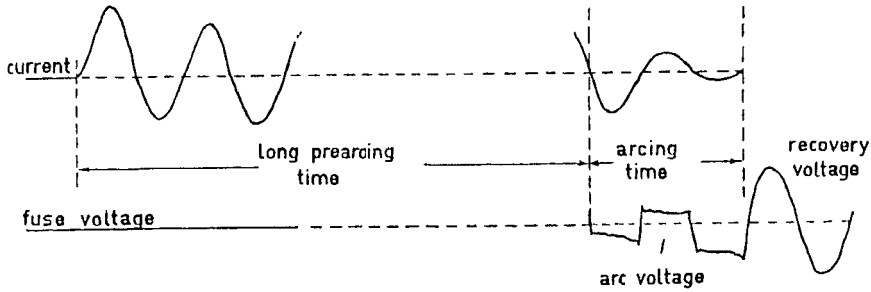


شکل (۱۴ـ۴): منحنی جریان و ولتاژ مستقیم فیوز

افت ولتاژ ایجاد شده در یک قوس کوچک در یک فیوز که با ماسه پر شده است در حدود ۵۰ ولت است بنابراین هنگامیکه یک عنصر فیوز ذوب می‌شود و تعدادی قوس تولید می‌گردد، ولتاژ فیوز بطور ناگهانی از یک مقدار کوچک به ولتاژی که برابر با مجموع افت ولتاژهای قوس‌های سری است (یا به عبارتی دیگر ولتاژی که برابر است با $n \times ۵۰V$ که در آن n تعداد قوس‌های سری می‌باشد) افزایش می‌یابد. این افزایش ولتاژ می‌تواند بصورت یک ولتاژ (نیروی محرکه الکتریکی) مخالف یا ضد محرکه تعبیر شود چرا که با افزایش جریان مخالفت می‌کند و باعث کاهش نرخ افزایش جریان می‌گردد. بنابراین برای قطع سریع جریان‌های اتصال کوتاه، وجود این افت ولتاژها تأثیر زیادی خواهد داشت. همانطوری که در شکل (۱۷-۴) نشان داده شده است، عنصر فیوزی توسط ماسه احاطه شده است و

می‌توان در عمل، بوسیله این عنصر فیوزی به منظور یاد شده دست یافت. ولتاژ فیوز در طول قوس‌زنی، بوسیله افزایش طول قوس و خنک شدن قوس و انتقال حرارت به ماده پر کننده افزایش می‌یابد و از نرخ افزایش جریان جلوگیری می‌کند. مشخصه خاموش کردن یک فیوز معمولی در شکل (۱۸-۴) نشان داده شده است.

POWEREN.IR
PowerEN.ir



شکل (۱۵-۴): نمودارهای جریان مورد انتظار در اضافه بار برای جریان متناوب

۲-۴-۴- فیوزهای غیر محدود کنندهٔ جریان

این نوع فیوزها برخلاف فیوزهای محدود کننده جریان، برای محدود کردن جریان، ولتاژهای قوس بالا را ایجاد نمی‌کنند و بالطبع ظرفیت و قدرت شکست بسیار کمتری را نسبت به فیوزهای محدود کننده جریان دارند. این فیوزها ارزانتر بوده و در جاهائیکه جریان خطای مورد انتظار به حدی زیاد نیست که از فیوزهای محدود کننده استفاده شود، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۵-۴-انواع فیوزها از نظر قدرت

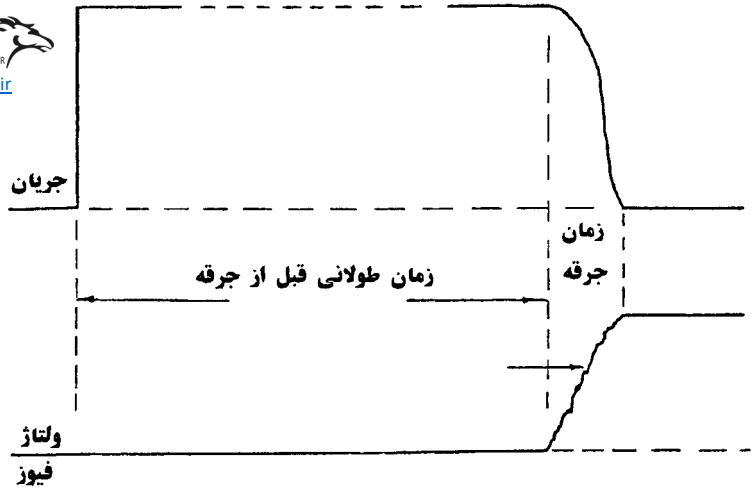
۱-۵-۴-فیوزهای فشار ضعیف

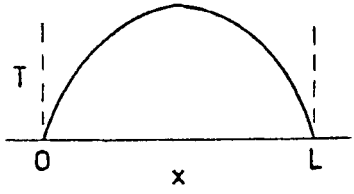
این نوع فیوزها دارای قدرت قطع زیاد هستند بطوری که می‌توانند جریانهای تا ۲۵ کیلو آمپر را با اطمینان کامل قطع کنند. این نوع فیوز برای جریانهای تا حدود ۶۰۰ آمپر و ۵۰۰ ولت ساخته شده و برای حفاظت سیم و کابل در شبکه‌های توزیع به کار می‌رود.

شکل (۱۹-۴) فیوز فشار ضعیف و طرز نصب آن را نشان می‌دهد. شکل (۲۰-۴) نیز منحنی مشخصه فیوزهای فشار ضعیف را نشان می‌دهد.

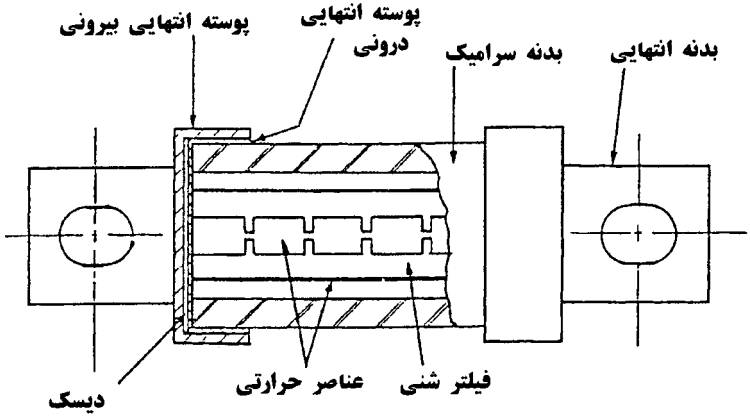
POWEREN.IR

PowerEn.ir





شکل (۱۶ـ۴): نمودار جریان مورد انتظار در اضافه بار برای جریان مستقیم



شکل (۱۷ـ۴): ساختمان داخلی فیوزهای محدود کنندهٔ جریان

POWEREN.IR

۲ـ۵ـ۴ـ فیوزها کات – اوت[1]

فیوزهایی که جهت استفاده در ولتاژهای بالاتر از ۶۰۰ ولت طراحی می‌شوند، به نام فیوزهای کات – اوت دسته‌بندی می‌شوند. کات – اوت‌هایی که با مایع (روغن) پر شده‌اند، بیشتر در تاسیسات و پستهای زیر زمینی به کار می‌روند. در این نوع فیوزها، قسمت ذوب شونده در یک محفظه پر از روغن و غیرقابل نشت قرار دارد. کات – اوت‌هایی که در شبکه‌های صنعتی بکار گرفته می‌شوند از انواع انفجاری[2] هستند. در این نوع، ذوب شدن المان ذوب شونده، باعث گرم شدن فیبر لوله‌ای فیوز شده که این نیز به نوبه خود گازهایی جهت خاموش کردن قوس تولید می‌کند.

کات – اوتهای انفجاری برحسب شکل ظاهری و روش کار، خود به سه گروه تقسیم می‌شوند:

- کات – اوت‌های با فیوز دربسته[3]
- کات – اوت‌های با فیوز درباز[4]
- کات – اوت‌های با لینک فیوزی باز[5]

شکل (۲۱ـ۴) شکل ظاهری فیوزهای کات – اوت را به همراه ادوات مکانیکی آنها نشان می‌دهد.

۳ـ۵ـ۴ـ فیوزهای قدرت

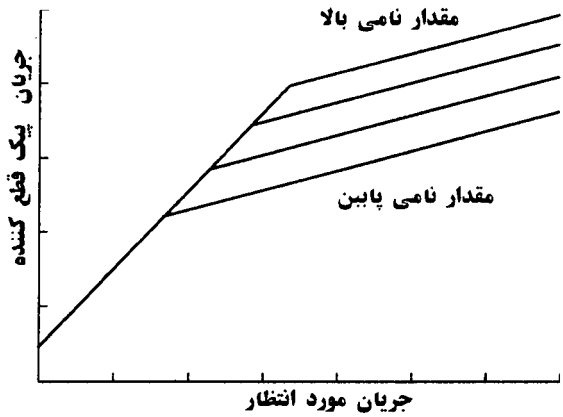
از فیوزهای قدرت[6] هنگامی استفاده می‌شود که جریان اتصال کوتاه سیستم بزرگتر از ظرفیت قطع فیوزهای کات – اوت باشد. ضمناً فیوزهای قدرت برای ولتاژهای بالاتری نسبت به فیوزهای کات – اوت ساخته می‌شوند. اصول کار فیوزهای کات – اوت و قدرت، نظیر هم هستند.

فیوزهای قدرت در ولتاژهای ۲/۴ تا ۱۳۸ کیلو ولت ساخته می‌شوند و جریان کار مداوم[7] آن‌ها از ۰/۵ تا ۴۰۰ آمپر است. فیوزهای قدرت محدود کننده جریان را می‌توان در محل‌هائی که جریان اتصال کوتاه متقارن تا ۸۰ کیلوآمپر باشد مورد استفاده قرار داد. شکل (۲۲ـ۴) نمای ظاهری یک فیوز را نشان می‌دهد.

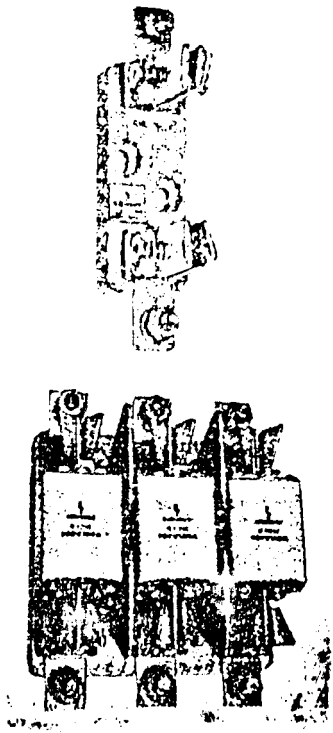
1- Cut-out Fuses
2- Expulsion
3- Enclosed - Fuse Cut Outs
4- Open - Fuse Cut Outs
5- Open Fuse - Link Cut Outs
6- Power Fuse
7- Continuous Current ("E" rating)

POWEREN.IR

PowerEn.ir



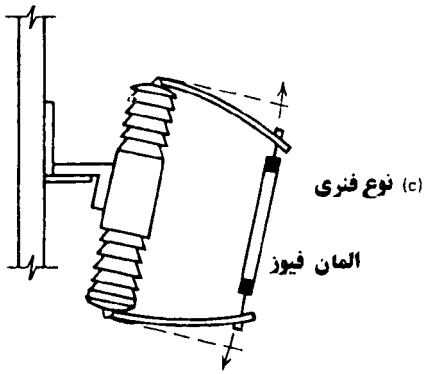
شکل (۱۸ـ۴): منحنی مشخصه خاموش کردن فیوز معمولی



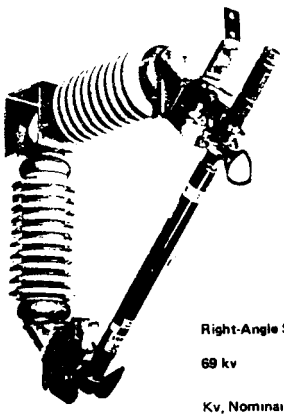
شکل (۱۹ـ۴): فیوز فشار ضعیف و نصب آن

POWEREN.IR

PowerEn.ir



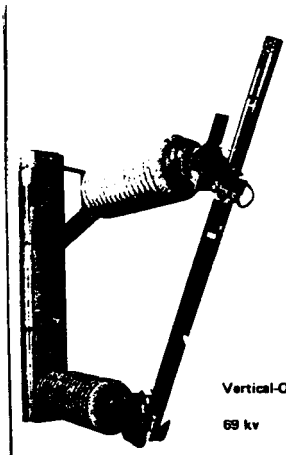
شکل (۲۱ـ۴): شکل ظاهری فیوزهای کات - اوت



Right-Angle Style

69 kv

Kv, Nominal	69
Kv, Max Design	72.5
Kv, BIL	350
Amperes, Max	200E
Amperes, Interrupting:	
Rms Symmetrical	8,750
Rms Asymmetrical	14,000



Vertical-Offset Style

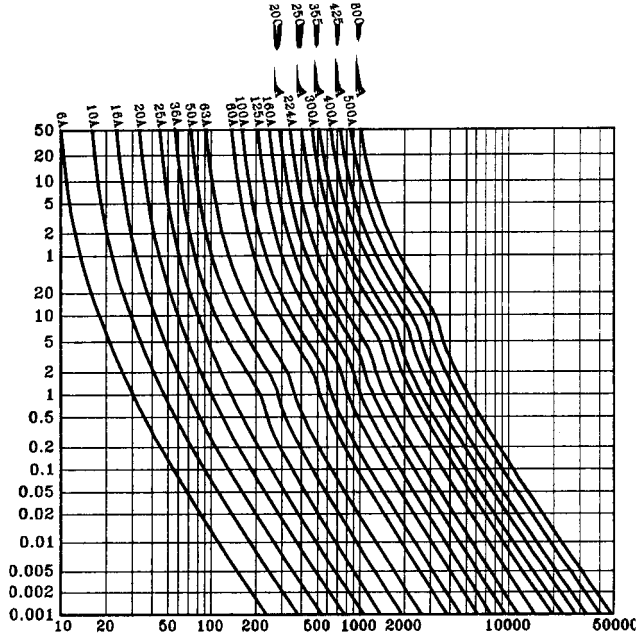
69 kv

Kv, Nominal	65
Kv, Max Design	72.5
Kv, BIL	350
Amperes, Max	300E
Amperes, Interrupting:	
Rms Symmetrical	25,000
Rms Asymmetrical	40,000

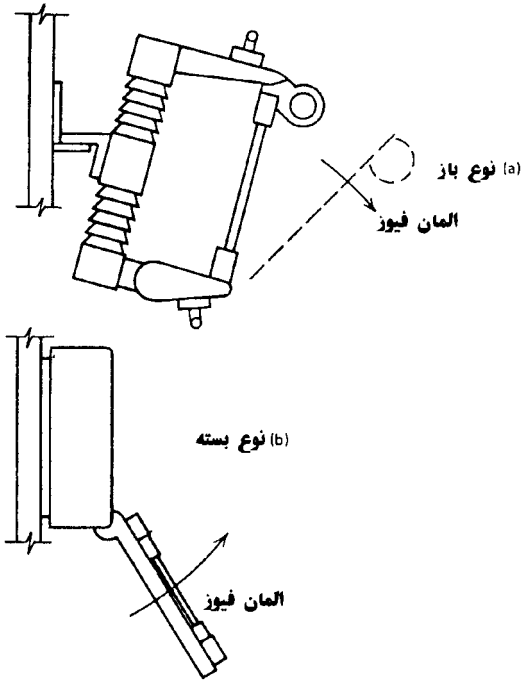
شکل (۲۲ـ۴): شکل ظاهری و مشخصات دو نوع مختلف از فیوزهای قدرت

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۲۰ـ۴): منحنی مشخصه فیوزهای فشار ضعیف

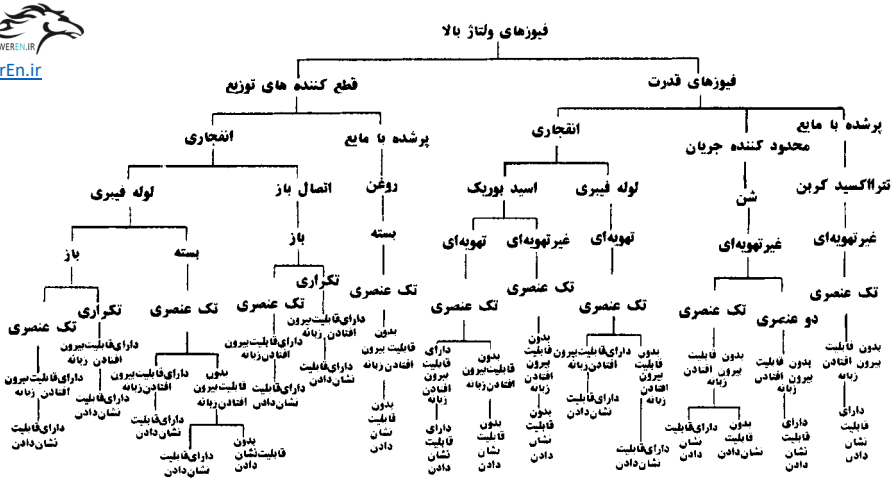


POWEREN.IR

شکل (۲۱ـ۴): شکل ظاهری فیوزهای کات - اوت

شکل (۲۳ـ۴) طبقه‌بندی انواع فیوزهای قدرت را نشان می‌دهد.

PowerEn.ir



شکل (۲۳ـ۴): طبقه‌بندی انواع فیوزهای قدرت

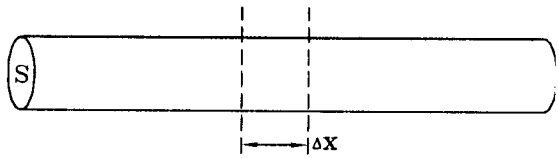
۶ـ۴ـ طراحی فیوزها و بررسی عملکرد آنها

۱ـ۶ـ۴ـ محاسبات جریان فیوزی برحسب درجه حرارت

قبل از شروع بحث باید یادآور شد که فیوز در مقابل جریانهای ماندگار و در مقابل جریانهای اتصال کوتاه عکس‌العملهای متفاوتی دارد و در هر مورد از فرمولهای خاص خود پیروی می‌کند. بنابراین هر کدام از این دو مورد به تفکیک در جای خود توضیح داده خواهند شد.

اولین بخش از طراحی فیوز، شناختن روابط تعادل انرژی است. این روابط از قوانین ترمودینامیک پیروی کرده و کاملاً اثبات شده هستند.

یک قطعه هادی مفتولی همانند شکل (۲۴ـ۴) را در نظر می‌گیریم که دارای سطح مقطعی مانند S است.



شکل (۲۴ـ۴): یک قطعه هادی مفتولی

POWEREN.IR

المانی جزئی از این طول را انتخاب نموده و آن را X می‌نامیم.

$$\Delta R = \rho \frac{\Delta X}{S} \qquad (۴\text{-}۲)$$

PowerEn.ir

در رابطه فوق منظور از ρ مقاومت مخصوص هادی برحسب اهم – میلیمتر است. در اثر عبور جریان I از این بخش، حرارتی در آن ایجاد می‌شود که برابر است با:

$$Q = \rho \frac{\Delta X}{S} I^2 \qquad (۴\text{-}۳)$$

بدیهی است که به محض شروع عبور جریان، حرارت در تمام طول هادی دفعتا بالا نمی‌رود بلکه این حرارت در طول هادی منتشر می‌شود. بنابراین قسمتی از حرارت ایجاد شده، صرف انتشار در طول هادی می‌شود که ما آن را تلفات طولی می‌نامیم و عبارت است از:

$$K \times S \times \Delta X \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} \qquad (۴\text{-}۴)$$

که در آن K رسانایی گرمایی برحسب وات بر درجه سانتیگراد – میلیمتر،

T درجه حرارت هادی برحسب سانتیگراد،

و X طول سیم از مبداء برحسب میلیمتر است.

رابطه بالا تغییرات دیفرانسیلی و توزیع درجه حرارت در طول سیم را مشخص می‌کند. همچنین بخشی از حرارت ایجاد شده بطور شعاعی به خارج از هادی منتقل می‌شود. این بخش از حرارت که تلفات شعاعی نام دارد از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$\frac{T - T_\circ}{g} \Delta X \qquad (۴\text{-}۵)$$

که در آن $T_\circ$ درجه حرارت محیط

و g مقاومت گرمایی برحسب درجه سانتیگراد – میلیمتر بر وات است.

باقیمانده انرژی ایجاد شده صرف بالا بردن حرارت می‌گردد. این حرارت از یک رابطه دیفرانسیل جزئی نسبت به زمان تبعیت می‌کند که به صورت زیر است:

$$m(S \times X)C \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۴\text{-}۶)$$

که در آن m چگالی جرمی برحسب گرم بر میلیمتر مکعب و C گرمای ویژه هادی برحسب ژول بر گرم درجه سانتیگراد می‌باشد.

با نوشتن روابط تعادلی برای فیوز با توجه به اطلاعات یاد شده خواهیم داشت:

POWEREN.IR

$$\rho\frac{\Delta X}{S} i^2 - K \times S \times \Delta X \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} - \frac{T-T_\circ}{g}\Delta X = mCS\Delta X \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۴\text{-}۷)$$

۲-۶-۴-عملکرد فیوز در حالت ماندگار

POWEREN.IR
PowerEn.ir

در حالت ماندگار، سیستم به حالت گرمایی پایدار رسیده است و تغییرات درجه حرارت نسبت به زمان ناچیز خواهد بود بنابراین:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \circ \qquad (۴\text{-}۸)$$

و نیز براحتی می‌توان از مقدار ناچیز تلفات طولی صرف‌نظر کرد. یعنی:

$$K \times S \times \Delta X \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} = \circ \qquad (۴\text{-}۹)$$

اگر این روابط را در فرمول (۴-۷) قرار دهیم رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\rho\frac{\Delta X}{S} i^2 - \frac{T - T_\circ}{\partial g} \times \Delta X = \circ \qquad (۴\text{-}۱۰)$$

از آنجا که جریان موثر صرف بالا بردن درجه حرارت می‌شود، به جای زمان لحظه‌ای (i)، از مقدار مؤثر آن (I_e) استفاده می‌کنیم. می‌دانیم مقاومت مخصوص هادی از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$\rho = \rho_\circ [\, 1 + \alpha (T-T_\circ) \,] \qquad (۴\text{-}۱۱)$$

در رابطه بالا، ρ مقاومت مخصوص، $\rho_\circ$ مقاومت مخصوص در درجه حرارت $T_\circ$ و α ضریب حرارتی است. با قرار دادن رابطه (۴-۱۰) در (۴-۱۱) داریم:

$$\frac{\rho_\circ [1 + \alpha (T-T_\circ)]}{S}\Delta X \times I^2_e - \frac{T-T_\circ}{g}\Delta X = \circ \qquad (۴\text{-}۱۲)$$

پس از ساده کردن:

$$\rho_\circ [1 + \alpha (T-T_\circ)] \times I^2_e = \frac{S \times (T-T_\circ)}{g} \qquad (۴\text{-}۱۲)$$

اگر از رابطه (۴-۱۳) مقدار T را استخراج کنیم به رابطه زیر می‌رسیم:

$$T = T_\circ + \frac{I^2_e \rho_\circ}{S/g - I^2_e \rho_\circ \alpha} \qquad (۴\text{-}۱۲)$$

همینطور با بدست آوردن جریان I_e از رابطه (۴-۱۳) خواهیم داشت:

POWEREN.IR

$$I_e = \sqrt{\frac{S(T_m - T_\circ)}{\rho_\circ [1+\alpha(T_m - T_\circ)]}} \qquad (۴\text{-}۱۵)$$

POWEREN.IR

روابط فوق، تغییرات درجهٔ حرارت را بر حسب تغییرات مقدار جریان مؤثر در حالت ماندگار می‌دهد. اگر درجه حرارتی را که در آن هادی فیوز شروع به ذوب می‌کند با T_m نمایش دهیم، I_m، جریانی خواهد بود که در حالت ماندگار در مدت زمان بینهایت موجب سوختن فیوز می‌شود. جریان I_m، به مینیمم جریان فیوزی[1] که قبلاً در خصوص آن توضیح داده شد موسوم است. رابطهٔ (۴-۱۵) را می‌توان بر این اساس به شکل زیر نوشت:

$$I_m = \sqrt{\frac{S(T_m - T_\circ)}{g\,\rho[1 + \alpha(T_m - T_\circ)]}} \qquad (۴\text{-}۱۶)$$

جریان I_m نباید با جریان I_n (جریان نامی فیوز) اشتباه شود. جریان I_n کمتر از I_m است و در حالت ماندگار در بینهایت زمان هم سبب سوختن فیوز نمی‌گردد. در منحنی‌های زمان برحسب جریان (منحنی قطع) I_m را می‌توان مجانب عمودی و مماس عمودی بر منحنی قطع فیوز دانست. بسیاری از سازندگان فیوز نسبت جریان I_m به I_n را به عنوان ضریب فیوزی معرفی و در کاتالوگ‌های مربوطه عرضه می‌نمایند. این ضریب بزرگتر از ۱ می‌باشد.

۳-۶-۴- تحلیل منحنی مشخصه فیوز باتوجه به درجه حرارت

مجدداً در رابطه (۴-۷) از تلفات طولی صرفنظر می‌کنیم. به عبارت دیگر در نظر می‌گیریم که دمای سیم در تمام طول خود یکسان است. همچنین در شرایط اتصال کوتاه، فرصتی برای تبادل انرژی با خارج وجود ندارد. به عبارت دیگر از تلفات شعاعی نیز صرف‌نظر می‌کنیم. یعنی:

$$\frac{T-T_\circ}{g}\,\Delta X = \circ \qquad (۴\text{-}۱۷)$$

با جایگذاری در رابطه (۴-۷) خواهیم داشت:

$$\frac{\rho_\circ\,[1+\alpha\,(T-T_\circ)]}{S}\,\Delta X \times I^2 = m \times C \times S \times \Delta X\,\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۴\text{-}۱۸)$$

لازم به توضیح است که مدت زمان، بسیار کوتاه است و جریان موثر معنی ندارد و پیک جریان است که موجب تغییرات حرارتی می‌شود.

اگر زمان شروع جریان اتصال کوتاه تا زمان شروع ذوب هادی فیوز را با t_{pre} نمایش دهیم، پس

POWEREN.IR

1- Minimum Fusing Current

از ساده‌سازی رابطه (۱۷ـ۴) به رابطه انتگرالی زیر می‌رسیم:

$$\int_{0}^{t_{pre}} I^2 . dt = \int_{T_0}^{T_m} \frac{m \times C}{\rho_0 \alpha} S^2 \frac{1}{1+\alpha (T-T_0)} dt \qquad (۱۹ـ۴)$$

PowerEn.ir

طرف دوم رابطه (۱۹ـ۴) پس از انتگرال‌گیری به شکل زیر ساده می‌شود:

$$\int_{0}^{t_{pre}} I^2 . dt = \frac{m C S^2}{\rho_0 \alpha} \ln [1+\alpha (T_m - T_0)] = K \times m \times S^2 = cte \qquad (۲۰ـ۴)$$

بنابراین مشاهده می‌شود که این مقدار همواره ثابت خواهد بود. به عبارت دیگر با افـزایش شـدت جریان t_{pre} کاهش و با کاهش جریان، افزایش می‌یابد.

اگر $I=I_m \sin \omega t$ باشد آنگاه خواهیم داشت:

$$I_m^2 \sin^2 \omega t dt = I_m^2 (\frac{1-\cos^2 \omega}{2}) dt \qquad (۲۱ـ۴)$$

با چشم‌پوشی از مقدار ناچیز $\cos 2\omega$ در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$\frac{I_m^2}{2} \times t_{pre} = I_e^2 \times t_{pre} \qquad (۲۲ـ۴)$$

و در نهایت:

$$I_m^2 \times t_{pre} = cte \qquad (۲۳ـ۴)$$

با ترسیم رابطهٔ (۲۳ـ۴) دقیقاً به منحنی فیوز دست می‌یابیم. بنابراین برای اینکه فیوزی بسازیم که در جریان اتصال کوتاه A کیلو آمپر در مدت زمان B ثانیه عمل کند کافی است طرف دوم رابطهٔ مقدار ثابت را که تابعی از شکل، جنس و سطح مقطع فیوز است، تغییر دهیم.

۴-۷- قواعد هماهنگی [۶و۵]

از آنجا که مسئله هماهنگی به تجربه، قضاوت انسانی و مشخصات وسـایل حـفاظتی مـربوط می‌شود، کارخانجات سازنده تجهیزات و طراحان سیستم‌های حفاظتی شبکه‌های توزیع الکتریکی هر کدام نظریات و دیدگاههای خاص خود را راجع بـه نـحوه تـنظیم و هـماهنگ نـمودن وسـایل حفاظتی‌دارند. برخی از سازندگان برای تنظیم هماهنگ و مطمئن وسایل حفاظتی که تولید نموده‌اند

POWEREN.IR

جداولی ارائه می‌نمایند که در شرایط مختلف، اندازه تنظیمات و مقادیر نامی پیشنهادیشان را عرضه می‌کنند. بعلاوه روش‌هایی را نیز با مقایسه منحنی‌های TCC وسایل حفاظتی مختلف معرفی می‌نمایند. مثلاً در هماهنگی رکلوزر – فیوز، برخی پیشنهاد می‌کنند که تنها کافی است باند منحنی‌های TCC فیوز (حداقل زمان ذوب شدن) در بین منحنی‌های عملکرد سریع و کل زمان عملکرد تجمعی رکلوزر قرار گیرد. دیدگاهی دیگر می‌گوید که برای هماهنگی رکلوزر و فیوز کافی است منحنی حداقل ذوب فیوز، بالاتر از منحنی عملکرد سریع رکلوزر، و منحنی کل زمان باز شدن اتصال فیوز، پایین‌تر از منحنی عملکرد تأخیری رکلوزر قرار گیرد. در این کتاب تلاش شده است حتی‌الامکان نظریات مختلف بررسی شود و نهایتاً الگوریتم هماهنگی نسبتاً جامعی ارائه شود.

قیود یا قواعد هماهنگی به صورت مجموعه‌ای از نامساویها و تساویها بوده و لذا باعث می‌شود که بجای داشتن تنها یک جواب برای مسئلهٔ هماهنگی، جوابهای متعددی وجود داشته باشد اما این رابطه به ازاء مقادیری از پارامترهای وسایل حفاظتی بکار گرفته شده که در عین حصول هماهنگی، فاصله هماهنگی نیز حتی الامکان محدود نگردد.

بسته به آنکه وسایل حفاظتی اصلی و پشتیبان از چه نوعی باشند محدودیت خاصی را برای هماهنگی‌شان باید اعمال نمود. ذیلاً قواعد هماهنگی وسایل حفاظت کننده در شبکه‌های صنعتی آورده می‌شود.

۱-۷-۴- قاعده هماهنگی رله – رکلوزر

رکلوزر وسیله‌ای است که چند بار عمل قطع و وصل را انجام داده و در صورتی که خطا دایمی باشد فرمان وصل رکلوز مسدود می‌شود. کل عملی که در چند بار قطع و وصل رکلوزر روی می‌دهد به کل زمان جمع شده[1] معروف است. بنابراین رله بایستی در شرایط ناموفق اتورکلوزر، حداقل به اندازه کل زمان قطع شده صبر نماید و چنانچه اطمینان حاصل شد که رکلوزر عمل نمی‌کند در این صورت شروع به عمل نماید. به عبارت دیگر شرط لازم برای هماهنگی رله و رکلوزر آن است که زمان عملکرد رله به ازای حداکثر جریان خطای واقع شده در جلوی رکلوزر با کل زمان جمع شده عملکردهای رکلوزر به ازای همان جریان خطا، حداقل به اندازه ۱۰ سیکل فاصله زمانی داشته

1- Total Accumalating Time (TAT)

PowerEn.ir
POWEREN.IR

باشد.

با فرض اینکه فرکانس شبکه ۵۰ هرتز باشد این فاصله زمانی برابر ۰/۲ ثانیه می‌شود. لذا قاعده هماهنگی جفت رله – رکلوزر را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

PowerEn.ir

$$OT_{Rel}(I_{MF}) > TAT\ (I_{MF}) + ۰/۲ \qquad (۴-۲۴)$$

۴-۷-۲ قاعده هماهنگی رکلوزر – رکلوزر

از آنجا که هر رکلوزر دوگونه عملکرد سریع و تأخیری دارد لذا در هماهنگی دو رکلوزر لازم است که اولاً عملکرد سریع رکلوزر اصلی زودتر از عملکرد سریع رکلوزر پشتیبان باشد که با توجه به سرعت عملکرد سریع نمی‌توان فاصله هماهنگی زیادی بین آن دو قائل شد [۵,۶]. ثانیاً عملکردهای تأخیری دو رکلوزر نیز بایستی با هم هماهنگ گردند؛ لازم است بین آنها فاصله هماهنگی حداقل به اندازه ۱۵ سیکل یعنی ۰/۳ ثانیه در نظر گرفته شود. این فاصله زمانی به خاطر خطای عملکرد تجهیزات و حاشیه ایمنی است. نکته سوم آنکه در صورتی که شرایط قفل شدن رکلوزرها آماده شده لازمست رکلوزر اصلی قفل شود و رکلوزر پشتیبان نبایستی قفل نماید. شرایط فوق را می‌توان به صورت روابط زیر بیان نمود:

$$OT_{Rec}(B,F,I_{MF}) > OT_{Rec}(P,F,I_{MF}) \qquad (۴-۲۵)$$

$$OT_{Rec}(B,F,I_{MF}) > OT_{Rec}(P,D,I_{MF}) + ۰/۳ \qquad (۴-۲۶)$$

$$LO(B,P) = P \qquad (۴-۲۷)$$

در روابط بالا B علامت پشتیبان، P علامت اصلی، F نمایانگر سریع و D نمایانگر تأخیری و LO بیانگر قفل کردن است.

۴-۷-۳- قاعده هماهنگی رکلوزر - جداکننده

اگرچه جداکننده دارای منحنی مشخصه عملکرد نمی‌باشد امّا برای اینکه با رکلوزر به طور هماهنگ عمل نماید لازم است شرایط زیر را فراهم کرد:

اولاً زمان قفل شدن رکلوزر به ازاء عبور حداقل جریان اتصال کوتاه باید از زمان حافظه جداکننده کمتر باشد.

ثانیاً بایستی حداقل جریان تحریک جداکننده کمتر از حداقل جریان عملکرد رکلوزر باشد.

POWEREN.IR

ثالثاً جدا کننده قبل از اینکه رکلوزر قفل نماید (قبل از آخرین عملکرد رکلوزر) بایستی بطور کامل باز شود.

PowerEn.ir

رابعاً تعداد عملکردهای لحظه‌ای و تأخیری بقدری باشد که جدا کننده بتواند عمل نماید. قیود فوق الذکر را می‌توان به صورت زیر فرمول بندی نمود:

$$LOT_{Rec}(I_{MF}) < MEM_{sec} \qquad (۴-۳۰)$$

$$MAC_{sec} = ۰/۸ \times MTR_{Rec} \qquad (۴-۳۱)$$

$$Count_{sec} = N_{OFS} + N_{ODS} - ۱ \qquad (۴-۳۲)$$

$$N_{OFS} + N_{ODS} \geq ۱ \qquad (۴-۳۳)$$

LOT_{Rec} زمان قفل شدن رکلوزر، MEM_{sec} زمان حافظه جدا کننده، MTR_{Rec} حداقل جریان عملکرد در رکلوزر، N_{OFS} تعداد عملکرد لحظه‌ای و N_{ODS} تعداد عملکردهای تاخیری می‌باشند.

۴-۷-۴- قاعده هماهنگی رکلوزر - جداکننده - فیوز

از آنجا که جدا کننده دارای منحنی مشخصه نمی‌باشد لذا در هنگامی که ترکیب حفاظتی رکلوزر - جدا کننده - فیوز وجود دارد لازم است رکلوزر علاوه بر هماهنگی با جدا کننده، با فیوز جلوی جدا کننده نیز هماهنگ گردد. بعلاوه بایستی فرصت کافی برای فیوز وجود داشته باشد که با عملکرد تأخیری رکلوزر هماهنگ گردد، از این رو شرایط زیر بایستی توأماً برقرار باشد:

- شرایط هماهنگی رکلوزر - جدا کننده که در قسمت ۳-۷-۴ بیان گردید.
- شرایط هماهنگی رکلوزر - فیوز نیز باید برقرار باشد.
- تعداد عملکرد سریع رکلوزر باید برابر ۱ و تعداد عملکرد تأخیری برابر ۳ گردد.

در این حالت حفاظت اصلی، فیوز و حفاظت پشتیبان، رله است. با توجه به شیب تند فیوزها امکان هماهنگی فیوز با رله در صورتی که رله، حفاظت اصلی و فیوز، حفاظت پشتیبان باشد وجود ندارد. برای نیل به هماهنگی مطمئن برقراری نامساوی زیر ضروری است:

POWEREN.IR

$$OT_{Rel}(I_{MF}) > TCT_{fus}(I_{MF}) + ۰/۳۵ \quad (۴-۳۴)$$

این رابطه بیان می‌دارد که زمان عملکرد رله پشتیبان به ازاء عبور حداکثر جریان خطا بایستی از کل زمان رفع خطا توسط فیوز در مقابل عبور همان جریان خطا به اندازه حداقل ۰/۳۵، فاصله زمانی داشته باشد. البته می‌توان حاشیه ایمنی را به صورت مجموع تابعی از زمان عملکرد فیوز و یک قسمت ثابت که به خاطر ضریب اطمینان و حرکت اضافی رله پشتیبان می‌باشد در نظر گرفت (t زمان عملکرد فیوز است).

فاصله زمانی لازم جهت هماهنگی رله – فیوز = ۰/۴t + ۰/۱۵

POWEREN.IR
PowerEn.ir

۴-۷-۶- قاعده هماهنگی رله – رله

نحوه هماهنگی جفت رله – رله، مشابه هماهنگی رله – فیوز می‌باشد. لذا قید هماهنگی آنها را می‌توان به صورت زیر بیان نمود [۲]:

$$OT_{Rel}(B,I_{MF}) > IT_{Rel}(P,I_{MF}) + ۰/۴ \quad (۴-۳۵)$$

البته در این حالت نیز می‌توان فاصله هماهنگی دو رله اصلی و پشتیبان را براساس زمان عملکرد رله اصلی بیان نمود [۲].

فاصله لازم برای هماهنگی رله – رله = ۰/۲۵t + ۰/۲۵

t زمان عملکرد رله اصلی است.

۴-۷-۷- قاعده هماهنگی فیوز – فیوز

در این حالت حفاظت اصلی و پشتیبان هر دو فیوز هستند. شرط هماهنگی دو فیوز آن است که کل زمان رفع خطا توسط حفاظت اصلی به ازای عبور حداکثر جریان خطا، از ۷۵٪ حداقل زمان ذوب فیوز پشتیبان به ازاء عبور همان جریان خطا کمتر باشد که می‌تواند به صورت رابطه زیر بیان گردد[۵]:

$$MCT_{fus}(P,I_{MF}) < ۰/۷۵ \times MMT_{fus}(B,I_{MF}) \quad (۴-۳۶)$$

۴-۷-۸- جدول قواعد هماهنگی

در جدول (۳-۴) مجموع قیود هماهنگی که برای حالات مختلف ذکر گردیده متمرکز شده است.

POWEREN.IR

جدول (۳-۴): مجموعه قیود هماهنگی

POWEREN.IR
Powered by

ردیف	نوع هماهنگی	قاعده هماهنگی
۱	رله – رکلوزر	$OT_{Rel}(I_{MF}) > TAT(IMF) + ۰/۲$
۲	رکلوزر – فیوز	$OT_{Rec}(B,F,I_{MF} > OT_{Rec}(P,F,I_{MF})$ $OT_{Rec}(B,F,I_{MF} > OT_{Rec}(P,D,I_{MF}) + ۰/۳$ $LO(B,P) = P$
۳	رکلوزر – فیوز	$OT_{Rec}(B,F,I_{MF}) < ۰/۷۵ \times MCT_{fus}(P,I_{MF})$ $OT_{Rec}(B,D,I_{MF}) > TCT_{fus}(P,I_{MF})$ $N_{OFS} \geq ۱$ $N_{OFS} \geq ۱$
۴	رکلوزر – جدا کننده	$LOT_{Rec}(I_{MF}) < MEM_{sec}$ $MAC_{sec} = ۰/۸ \times MTR_{Rec}$ $Count_{sec} = N_{OFS} + N_{ODS} - ۱$ $N_{OFS} + N_{ODS} \geq ۱$
۵	رکلوزر – جدا کننده – فیوز	مجموعه شرایط هماهنگی رکلوزر فیوز و مجموعه شرایط هماهنگی رلکوزر – جدا کننده بطور همزمان باید برقرار باشد $NOFS = ۱$ و $NODS = ۱$
۶	رله – فیوز	$OT_{Rel}(I_{MF}) > TCT_{fus}(I_{MF}) + ۰/۳۵$
۷	رله – رله	$OT_{Rel}(B,I_{MF}) > OT_{Rel}(P,I_{MF}) + ۰/۴$
۸	فیوز – فیوز	$MCT_{fus}(P,I_{MF}) < ۰/۷۵ \times MMT_{fus}(B,I_{MF})$

علائم مورد استفاده در روابط (۲۴-۴) تا (۳۶-۴) به صورت زیر بطور یکجا تعریف می‌شود:

رله	Rel
رکلوزر	Rec
جداکننده	Sec

POWEREN.IR

فیوز	Fus
حفاظت پشتیبان	B
حفاظت اصلی	P
عملکرد تأخیری	D
عملکرد سریع	F
حداقل جریان عملکرد رکلوزر	MTR
حداقل جریان تحریک جداکننده	MAC
جریان نامی پیوسته فیوز	CCR
حداکثر جریان بار	I_{LM}
حداکثر جریان خطا	I_{MF}
حداقل جریان خطا	I_{mf}
زمان عملکرد	OT
زمان عملکرد تجمعی رکلوزر	TAT
زمان قفل شدن رکلوزر	LOT
تعداد عملکرد سریع رکلوزر	N_{OFS}
تعداد عملکرد تأخیری رکلوزر	N_{ODS}
تعداد تنظیم شدنی شمارش خطا توسط جداکننده	Count
زمان حافظه جداکننده	MEM
کل زمان پاک شدن خطا توسط فیوز	MCT_{fus}
حداقل زمان ذوب اتصال فیوز	MMT_{fus}

PowerEn.ir

۸ـ۴ـ انتخاب هماهنگی عناصر جریان زیاد

در این بخش اصول هماهنگی عناصر جریان زیاد توضیح داده می‌شود.

۱ـ۸ـ۴ـ انتخاب فیوز در انتهای شاخه

انتخاب فیوز در فیدر انتهایی یک شبکه شعاعی بستگی مستقیم به نوع بار متصل به آن فیدر دارد. اگر بار متصل موتوری یا ترانسفورماتوری باشد، فیوز انتخابی باید به گونه‌ای انتخاب شود تا در مقابل جریانهای هجومی و راه‌اندازی نسوزد. از طرف دیگر اگر بار روی فیدر انتهائی غیر موتوری

باشد با توجه به نیاز قطع سریع مدار در حالتهای خطا، فیوز انتخابی از نوع تندسوز انتخاب می‌گردد. با مراجعه به شکل (۴ـ۶) مشاهده می‌گردد که زمان MMT هر فیوز N آمپری تندسوز، تحمل جریان ۲N آمپر برابر ۳۰۰ ثانیه است. به عبارت دیگر فیوزهای تندسوز جریانهای اضافی تقریباً تا دو برابر مقدار نامی خود را به خوبی تحمل می‌نمایند. طبق استاندارد IEC-269 فیوزهای محافظ فیدرهای تغذیه، باید توانایی تحمل ۱/۲ برابر جریان بار را داشته باشند. از این‌رو نخست جریان اضافه‌بار برای مدت ۳۰۰ ثانیه، ۱/۲ برابر جریان بار انتخاب می‌گردد سپس در منحنی مشخصه MMT فیوزهای تندسوز، فیوزی که زمان MMT آن تحت جریان فوق بزرگتر از ۳۰۰ ثانیه باشد انتخاب می‌گردد.

۴ـ۸ـ۲ـ تنظیم رلهٔ جریان زیاد در انتهای شاخه

همانطور که در فصل دوم گفته شد به منظور تنظیم رله جریان زیاد مستقر در فیدر انتهایی یک شبکه شعاعی، نخست ضریب تنظیم زمانی (TSM) برابر ۰/۰۵ انتخاب شده و ضریب تنظیم جریانی (PS) با توجه به حداقل جریان اتصال کوتاه و C.T موجود در شبکه، و حداکثر جریان بار، انتخاب می‌شود، تا جریان پیک آپ رله معین شود.

به منظور سادگی، در فصل دوم حداقل جریان که در مقابل آن باید رله عمل نماید (RSI)، با ضریب ۱/۳ جریان بار انتخاب می‌گردد از این‌رو:

$$RSI = ۱/۳\ I_L \qquad (۴ـ۳۷)$$

$$PS = \frac{۱۰۰ \times RSI}{C.T} \qquad (۴ـ۳۸)$$

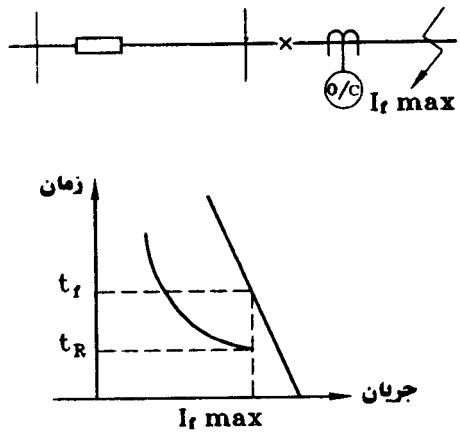
در رابطه (۴ـ۳۷) I_L جریان بار و در رابطه (۴ـ۲۴)، C.T ضریب تبدیل ترانسفورماتور جریان موجود در شبکه می‌باشد.

اگر PS بدست آمده بیشتر از حداکثر میزان مجاز آن در رله باشد (۲۰۰ درصد)، ترانسفورماتور جریان موجود در شبکه باید تعویض و یک مرتبه بالاتر انتخاب شود.

۴ـ۸ـ۳ـ مراحل انتخاب و هماهنگی رله - فیوز

در این قسمت الگوریتم لازم جهت یافتن فیوزی مناسب جهت پشتیبانی یک رله جریان زیاد معرفی می‌گردد. معمولاً در مواردی که جهت حفاظت یک ترانسفورماتور توزیع از یک فیوز فشار قوی در اولیه آن استفاده می‌شود نموداری مشابه شکل (۴ـ۲۵) بوجود می‌آید [۵].

PowerEn.ir



شکل (۲۵ـ۴): هماهنگی فیوز با رله در یک شبکه صنعتی

انتخاب فیوز مناسب به ترتیب زیر صورت می‌پذیرد:

الف ـ جهت پیدا کردن بیشترین جریان اتصال کوتاه محل خطا را جلوی رله (حفاظت اصلی) قرار می‌دهیم.

ب ـ با توجه به تنظیمات و نوع رله جریان زیاد، زمان عملکرد رله از مدل ریاضی مربوطه پیدا می‌شود.

ج ـ با توجه به شکل (۲۵ـ۴)، زمان عملکرد برای مدار شکن ۵ یا ۸ سیکلی حدوداً ۰/۱ ثانیه بوده و ۰/۱ ثانیه نیز حاشیه امنیت جهت عملکرد صحیح حفاظت در نظر گرفته می‌شود.

د – به دلیل تلرانس موجود در عملکرد فیوزهای مختلف، که ناشی از تفاوتهای موجود در ساخت فیوز است، ۴۰٪ خطا برای ذوب شدن فیوز (MMT) در نظر گرفته می‌شود.

هـ – جهت پیدا کردن فاصله زمانی مناسب بین ذوب شدن فیوز پشتیبان و عملکرد رله، رابطه زیر توصیه شده است [۷].

$$t_F = 2t_R + 0/3 \text{ sec} \quad \text{و یا} \quad 1/25\, t_R + 0/1 + 0/1 = 0/6\, t_F \qquad (۴\text{ـ}۳۹)$$

در رابطه (۳۹ـ۴)، t_F زمان MMT فیوز و t_R زمان عملکرد رله در جریان اتصال کوتاه ماکزیمم می‌باشند.

و – با بدست آمدن زمان t_F، نزدیکترین فیوز تندسوز (نوع K) با زمان MMT برابر t_F، انتخاب می‌شود. در صورتی که نتوان از فیوزهای تندسوز استفاده کرد، یکی از فیوزهای کندسوز (نوع T) با

شرط فوق انتخاب می‌گردد. در هر حال جریان نامی فیوز باید بیشتر یا مساوی جریان نرمال بار عبوری از فیوز باشد.

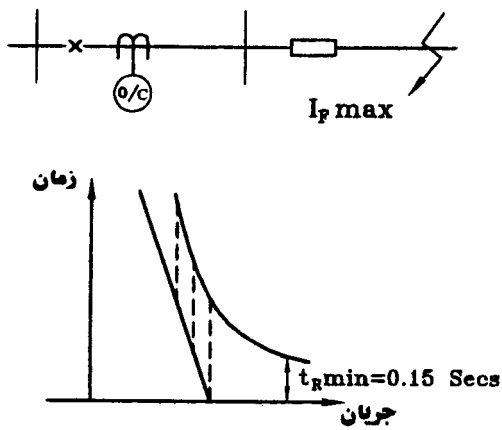
PowerEn.ir

۴ـ۸ـ۴ـ مراحل انتخاب و هماهنگی فیوز - رله[۵]

در این قسمت الگوریتم لازم جهت یافتن تنظیمات مناسب یک رله جریان زیاد پشتیبان فیوز معرفی می‌گردد. شکل (۲۶ـ۴)، آرایش چنین حالتی را به همراه مشخصه جریان - زمان فیوز رله، نشان می‌دهد.

انتخاب مناسب تنظیم مناسب رله پشتیبان به ترتیب زیر صورت می‌پذیرد:

الف ـ جهت پیدا کردن بیشترین جریان اتصال کوتاه، محل خطا را جلوی فیوز (حفاظت اصلی) قرار می‌دهیم.



شکل (۲۶ـ۴): هماهنگی رله با فیوز در یک شبکه صنعتی

ب ـ با توجه به جریان اتصال کوتاه، زمان MMT فیوز اصلی تحت جریان اتصال کوتاه پیدا می‌شود.

ج - به دلیل تلرانس موجود در عملکرد فیوزهای مختلف، ناشی از تفاوتهای موجود در ساخت فیوز، ۴۰٪ خطا برای زمان ذوب شدن فیوز (MMT) در نظر گرفته می‌شود.

د - جهت پیدا کردن فاصله زمانی مناسب بین عملکرد رله اصلی و ذوب شدن فیوز پشتیبان، رابطه زیر توصیه شده است:

$$\Delta T = ۰/۴\ t_F + ۰/۱۵\ \text{sec} \qquad (۴ـ۴۷)$$

POWEREN.IR

در رابطه (۴ـ۴۷)، t_F زمان MMT فیوز می‌باشد.

می‌توان بجای زمان MMT فیوز، زمان MCT آن را در نظر گرفت و جهت پیدا کردن ΔT از رابطه زیر استفاده کرد:

POWEREN.IR
PowerEn.ir

$$\Delta T = MCT + ۰/۲ \text{ sec} \qquad (۴ـ۴۱)$$

هـ – جهت بدست آمدن زمان عملکرد رله، ΔT به زمان عملکرد فیوز اضافه می‌شود.

و – حداقل جریان اتصال کوتاه، $\frac{۱}{۳}$ جریان بار عبوری از رله انتخاب می‌گردد و با استفاده از رابطه (۴ـ۳۷) و (۴ـ۳۸) تنظیم جریان رله پیدا می‌شود (تنظیم پیک آپ رله).

ز – اگر PS بدست آمده بیشتر از حداکثر میزان مجاز آن باشد (۲۰۰ درصد) ترانسفورماتور جریان موجود در شبکه باید تعویض و یک مرتبه بالاتر انتخاب شود.

ح – با توجه به زمان عملکرد، تنظیم جریانی آن، ماکزیمم جریان اتصال کوتاه و نوع رله جریان زیاد (NI معمولی، VI خیلی کاهشی یا EI شدیداً کاهشی) و تنظیم زمانی آن از روی مدل ریاضی مربوطه پیدا می‌شود.

۵ـ۸ـ۴ـ هماهنگی فیوز – فیوز

یک راه سریع انتخاب فیوزهای هماهنگ با فیوز اصلی، انتخاب یک مرتبه بالاتر از همان نوع فیوز است.

در این بخش سه روش موجود انتخاب فیوز پشتیبان فیوز اصلی برای انواع فیوزها معرفی می‌شود:

الف ـ هماهنگی با استفاده از منحنی زمان – جریان فیوزها

در این روش، هماهنگی دو فیوز A و B که بطور سری متصل شده‌اند مطابق با شکل (۲۷–۴)، با مقایسه منحنی کل زمان رفع خطا مربوط به فیوز B با منحنی زمان خرابی فیوز A حاصل می‌گردد. در اینجا ضروریست که زمان کل فیوز حفاظت شده[1] (حفاظت اصلی) از ۷۵٪ منحنی حداقل زمان فیوز حفاظت کننده[2] (حفاظت پشتیبان) تجاوز ننماید. حاشیه اطمینان ۲۵٪ به منظور احتساب متغیرهای عملیاتی مثل شرایط قبل از بارگیری، درجه حرارت محیط و ذوب جزئی فیوز، ناشی از اتصال

POWEREN.IR

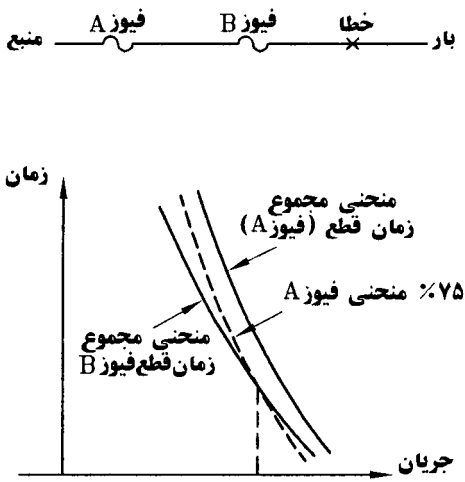
1- Protected device
2- Proctecting device

کوتاههای گذرا، منظور می‌شود. اگر بین دو منحنی اشاره شده تقاطع و برخوردی نباشد هماهنگی کامل حاصل می‌شود، در غیر این صورت نقاط برخورد منحنی‌ها حدود هماهنگی را مشخص می‌کند.

PowerEn.ir

ب - هماهنگی با استفاده از مشخصهٔ جریان - زمان فیوز[۵]

در این روش جهت هماهنگ بودن فیوزهای کات - اوت، از جداول هماهنگی که توسط کارخانه سازنده فیوز تهیه گردیده، استفاده می‌شود.

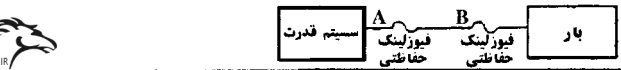


شکل (۲۷-۴): هماهنگی فیوزهای سری با استفاده از منحنی‌های TCC

بطور مثال در جداول (۵-۴) یکی از کارخانجات سازنده، مقادیر تنظیم پیشنهادی خود را برای فیوزهای کند (T) و فیوزهای تند (K) با اندازه‌های مختلف و با در نظر گرفتن حاشیه اطمینان ۲۵٪ ارائه نموده است. در این حالت به تعیین منحنی کل زمان پاک شدن اتصالی نیازی نمی‌باشد، زیرا برای هر ماکزیمم مقدار جریان خطا، یک جفت فیوز سری با هماهنگی قابل قبول در جدول پیشنهاد شده است که البته به اندازه فیوز انتخابی بستگی دارد.

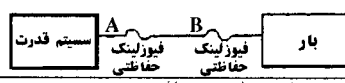
POWEREN.IR

جدول (۴-۴): مقادیر تنظیم پیشنهادی GEC[1] برای فیوزهای تند (K) و کند (T)



POWEREN.IR
PowerEn.ir

نوع "T" مقادیر نامی فیوزلینک (A در دیاگرام) آمپر																			نوع "K" مقادیر نامی فیوزلینک (B در دیاگرام)
۱۰۳*	۱۰۲*	۱۴۰K	۱۰۱*	۱۰۰K	۸۰K	۶۵K	۵۲*	۵۰K	۴۰K	۳۰K	۲۰K	۱۵K	۱۲K	۱۰K	۸K	۶K			
ماکزیمم جریان اتصال کوتاه مؤثر (آمپر) برای فیوزلینک حفاظتی																			
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۵۳۰	۳۹۵	۳۰۰	۲۱۵	۱۳۵			۱K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۵۳۰	۳۹۵	۳۰۰	۱۹۵	۱۱۰			۲K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۵۳۰	۳۹۵	۲۹۰	۱۶۵	۸۰			۳K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۵۳۰	۳۹۵	۲۷۰	۱۳۳	۱۴			۵
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۴۶۰	۲۷۰	۱۴۵	۳۷				۶K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۳۹۰	۱۷۰	۱۳۳					۸K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۵۳۰	۲۶۰	۲۴	۱۶				۱۰
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۴۷۰	۲۸۵	۳۸					۱۰K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۱۱۰۰	۳۶۰	۱۴۰						۱۲K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۷۰	۹۶۰	۹۵							۱۵K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۲۰۰	۷۰۰	۷۰							۲۰K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۲۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۲۰	۱۳۰۰	۵۸۰	۱۴۰							۲۵K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۱۸۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۷۰۰	۲۱۵									۳۰K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۵۰۰	۳۶۰۰	۱۲۰۰	۳۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۰										۴۰K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۶۰۰	۱۹۵	۳۲۵۰	۱۶۰۰											۵۰K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۳۳۰۰			۳۳۰											۶۵K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۵۰۰	۲۹۰														۴۲*
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۶۰۰۰	۵۸۰۰	۵۸۰														۸۰K
۱۶۰۰۰	۹۵۰۰	۹۷۰۰	۴۳۰۰	۳۰۰															۱۰۰K
۱۶۰۰۰		۷۵۰۰	۳۵۸																۱۰۱*
۱۶۰۰۰		۲۸۰۰																	۱۴۰K
		۱۲۵۰																	۱۰۲*



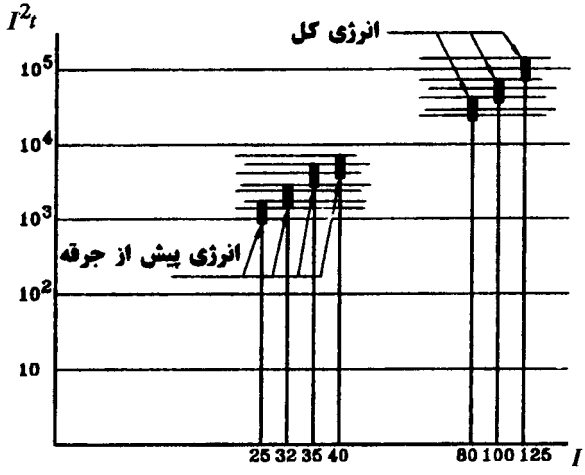
نوع "K" مقادیر نامی فیوزلینک (A در دیاگرام) آمپر																			نوع "K" مقادیر نامی فیوزلینک (B در دیاگرام)
۱۰۳T	۲۰۰T	۱۴۰T	۱۰۰T	۸۰T	۵۰T	۴۰T	۳۰T	۲۵T	۲۰T	۱۵T	۱۲T	۱۰T	۸T	۶T					
ماکزیمم جریان اتصال کوتاه مؤثر(آمپر) برای فیوزلینک حفاظتی																			
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۹۳۰	۱۵۰۰	۱۲۲۰	۹۵۰	۷۱۰	۵۴۰	۳۹۵	۲۵۰				۱N*
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۹۳۰	۱۵۰۰	۱۲۲۰	۹۵۰	۷۱۰	۵۴۰	۳۹۵	۲۵۰				۲N*
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۹۳۰	۱۵۰۰	۱۲۲۰	۹۵۰	۷۱۰	۵۴۰	۳۹۵	۲۵۰				۳N*
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۹۳۰	۱۵۰۰	۱۲۲۰	۹۵۰	۵۵۰	۳۶۵	۳۳					۶T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۹۳۰	۱۵۰۰	۱۲۲۰	۸۵۰	۴۸۰	۱۲۵						۸T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۹۳۰	۱۵۰۰	۱۲۲۰	۹۵۰	۷۱۰	۵۴۰	۱۹					۱۰
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۹۳۰	۱۵۰۰	۱۱۳۰	۶۲۰	۷۴							۱۰T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۹۳۰	۱۴۰۰	۷۷۰	۱۳۵								۱۲T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۵۰۰	۱۷۵۰	۸۸۰	۱۰۰									۱۵T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۲۳۰۰	۱۱۵۰	۱۰۵										۲۰T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۳۱۰۰	۱۵۰۰	۱۹۰											۲۵T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۳۹۵۰	۱۹۰۰	۱۱۵												۳۰T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۴۹۵۰	۲۳۵۰	۳۱۰													۴۰T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۶۳۰۰	۳۴۰۰	۱۵۰														۵۰T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۶۰۰	۴۳۰۰	۲۷۰															۶۵T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۹۳۰۰	۶۶۰																۸۰T
۱۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	۶۰۰۰																	۱۰۰T
	۶۶۰۰																		۱۴۰T

1- General Electric Company

ج ـ هماهنگی با استفاده از معیار انرژی

در این روش، انرژی عبوری از فیوز تحت شرایط خلاء، معیار هماهنگی بوده و از نمودارهای مشابه با شکل (۲۰ـ۴) استفاده می‌شود.

PowerEn.ir



شکل (۲۸ـ۴): مشخصه I^2t فیوزها

در شکل (۲۸ـ۴)، ضلع پائین هر مستطیل، انرژی پیش از جرقه[1] و ضلع بالای هر مستطیل انرژی کل جهت سوختن فیوز است. هر فیوز با فیوز بالاتر خود، تنها در صورتی هماهنگ است که انرژی کل آن از انرژی پیش از جرقهٔ فیوز بالاتر، کمتر باشد. بعنوان مثال در شکل (۲۸ـ۴) جهت انتخاب فیوز پشتیبان برای فیوز ۳۲ آمپری، فیوز ۳۵ آمپری به دلیل عدم برآورد شرط فوق، مناسب نبوده و باید از فیوز ۴۰ آمپری استفاده کرد[۳].

نمودارهای مشابه با شکل (۲۸ـ۴) معمولاً توسط کارخانجات سازنده یا مراجع معتبر ارائه می‌گردد. همانگونه که مطرح شد هماهنگی بر پایه انرژی یا معیار I^2t (خطوط افقی روی شکل (۲۸ـ۴)) است؛ با فرض ثابت بودن انرژی فیوز داریم:

$$I^2T = K \qquad (۴-۴۲)$$

با لگاریتم گرفتن از طرفین رابطه (۴۳ـ۴) خواهیم داشت:

$$2\log (I) + \log (T) = \log (K)$$

$$\log (T) = -2 \log(I) + \log (K) \qquad (۴-۴۲)$$

POWEREN.IR

1- Prearcing

همانطور که مشاهده می‌شود در این روش، مشخصه جریان - زمان، MMT و MCT فیوزها با یک خط با شیب ۲- تقریب زده می‌شود و یا به عبارت دیگر مدل ریاضی فیوز در این روش، همان مدل رادکی ولی از درجه ۱ می‌باشد. طبیعی است که این روش در مقایسه با مدل ریاضی درجهٔ ۸ رادکی که جهت مدل سازی فیوزها در برنامه کامپیوتری استفاده می‌شود، دقت کمتری دارد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

۶-۸-۴- مراحل انتخاب و هماهنگی بین رکلوزر و فیوز [۵،۶،۸]

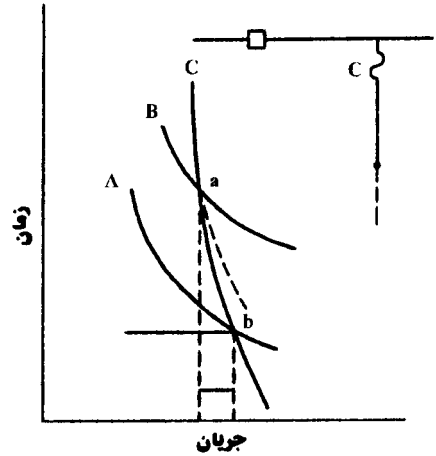
در این قسمت، مسئله هماهنگی بین عملکرد رکلوزر و فیوز با توجه به منحنی مشخصه زمان - جریان آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۲۹-۴) رکلوزری را نشان می‌دهد که در یک شبکه توزیع قبل از فیوز قرار گرفته است. همچنین در شکل، مشخصه زمان - جریان لحظه‌ای رکلوزر (منحنی A) و مشخصه تأخیر آن (منحنی B) نشان داده شده‌اند. در اینجا برای پرهیز از پیچیدگی، یک عملکرد لحظه‌ای و یک عملکرد تأخیری برای رکلوزر در نظر گرفته شده است.

در صورتی که خطای موقتی بعد از فیوز اتفاق افتد، با عملکرد لحظه‌ای رکلوزر، از عملکرد بی مورد فیوز C جلوگیری خواهد شد. البته این در صورتی عملی خواهد بود که مشخصه لحظه‌ای رکلوزر یعنی منحنی A در زیر مشخصه فیوز قرار گیرد. بنابراین به ازای جریانهای کمتر از جریان مربوط به نقطه b که محل تلاقی منحنی فیوز با A است، عملکرد لحظه‌ای رکلوزر، مدار را سریعاً قطع کرده و پس از وصل مجدد، خطا رفع می‌شود و در این بین فیوز C عمل نخواهد کرد. در صورتی که خطا دائمی باشد پس از وصل مجدد جریان، خطا هنوز ادامه دارد و رکلوزر مطابق مشخصه عملکرد تأخیری B مدار را قطع خواهد کرد اما قبل از اینکه رکلوزر مدار را قطع کند، باید فیوز عمل کرده و قسمت معیوب را از مدار جدا کند و این در صورتی عملی است که منحنی مشخصه فیوز C زیر منحنی B قرار گیرد و این شرط به ازای مقادیر بزرگتر از جریان مربوط به نقطه تلاقی a بین فیوز و عملکرد تأخیری رکلوزر (منحنی B) برآورده می‌گردد. بنابراین کلاً فیوز و رکلوزر برای جریانهای بین دو حد فوق (جریان مربوط به نقطه a و جریان مربوط به نقطه b) با یکدیگر هماهنگ خواهند بود.

روش فوق برای هماهنگی رکلوزر و فیوز یک روش تقریبی است و برای بدست آوردن دقت بیشتر در هماهنگی، عوامل دیگری باید در نظر گرفته شوند. بعنوان مثال مشخصه داده شده برای فیوزها توسط سازندگان، برای حالتی است که فیوز از قبل زیر بار نبوده است در حالی که در بحث ما فیوز قبل از وقوع خطا تحت بار است و جریان از آن عبور می‌کند و بنابراین گرمتر است

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۲۹-۴): هماهنگی بین مشخصه فیوز و رکلوزر

و به ازای جریان مشخصی در مدت زمان کمتری نسبت به آنچه از روی مشخصه تعیین می‌شود، عمل خواهد کرد. درجه حرارت محیط و خطای مربوط به مشخصه فیوز و نیز عبور جریان خطا از فیوز هنگام عملکرد سریع رکلوزر و در نتیجه اثر گرم شدن و سرد شدن فیوز هنگام قطع و وصل رکلوزر، از جمله عواملی هستند که باید در هماهنگی رکلوزر و فیوز در نظر گرفته شوند.

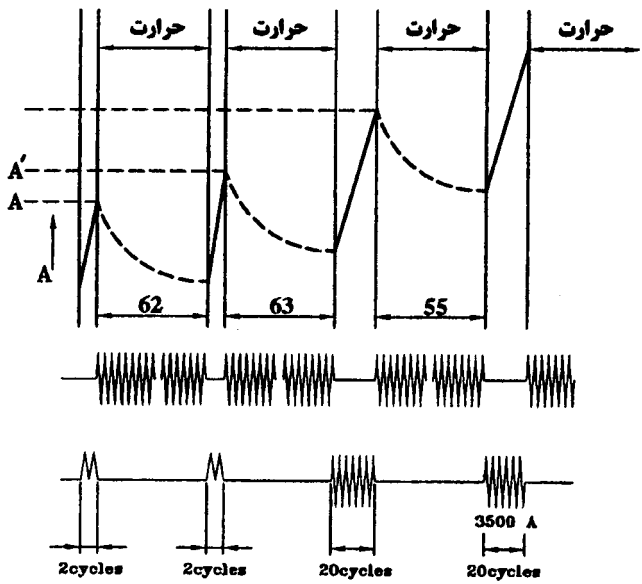
به عبارت دیگر منحنی تغییرات درجه حرارت اتصال فیوز در حین عملیات قطع و وصل خودکار توسط رکلوزر بایستی مدنظر قرار گیرد.

همانطور که از روی شکل می‌توان دریافت، هر یک از دو عملکرد لحظه‌ای اولیه، فقط دو سیکل (در فرکانس ۶۰ Hz) طول می‌کشند. یعنی بعد از وصل مجدد، مدار برای مدت دو سیکل بسته است و در طول این دو سیکل، جریان اتصال کوتاه از فیوز عبور می‌کند و درجه حرارت فیوز بالا می‌رود. پس از قطع مدار، مدار برای ۶۲ سیکل (یک ثانیه) باز باقی می‌ماند و در طول این مدت، ولتاژ نامی شبکه روی کنتاکتهای رکلوزر خواهد افتاد و فیوز مجدداً سرد می‌شود تا وصل لحظه‌ای دوم صورت گیرد. درجه حرارت فیوز مجدداً در طول دو سیکل وصل بودن مدار بالا می‌رود. مدت زمان بسته بودن مدار برای عملکرد تأخیری ۲۰ سیکل است و این زمان در مقایسه با عملکرد لحظه‌ای ۱۰ برابر است، لذا در طول اولین عملکرد تأخیری، درجه حرارت فیوز تا حد زیادی بالا می‌رود. پس از آن مدار باز شده و ۵۵ سیکل پریود سرد شدن فیوز شروع می‌شود. در آخرین مرحله عملکرد تأخیری رکلوزر که مدار مجدداً بسته می‌شود، درجه حرارت فیوز باید به مقداری برسد که باعث ذوب شدن و عملکرد فیوز شود تا قبل از قفل شدن رکلوزر در وضعیت باز، فیوز قسمت معیوب مدار را از بقیه مدار جدا کند. بنابراین

POWEREN.IR

لازم است که حرارت جذب شده توسط فیوز در حین دو عملکرد لحظه‌ای رکلوزر محاسبه شود تا از ذوب شدن فیوز در طول این دو عملکرد جلوگیری گردد. برای اینکه محدوده هماهنگی رکلوزر و فاز دقیق‌تر تعیین شود باید تعدیل لازم در مشخصه داده شده توسط سازنده، به خاطر زیربار بودن قبل از وقوع خطا و متأثر بودن مشخصه فیوز از جریانهای خطاهای گذرای قبلی (که باعث عملکرد فیوز نشده‌اند اما باعث ایجاد تغییر در مشخصه فیوز شده‌اند) اعمال شود. این تعدیل با اعمال ضریب ۰/۷۵ (این ضریب در جایی که اطلاعات بیشتری در این مورد توسط سازنده داده نشده باشد بکار می‌رود) برای زمان ذوب انجام می‌شود. بدین معنی که مشخصه دیگری در زیر مشخصه سازنده رسم می‌شود و به ازای یک زمان مشخص، جریان لازم برای ذوب فیوز روی مشخصه تعدیل شده، ۰/۷۵ مشخصه اولیه فیوز می‌باشد. از طرف دیگر در فواصل زمانی deadtime که مدار توسط رکلوزر باز شده است، مطابق شکل (۳۰-۴)، فیوز فرصت خنک شدن پیدا می‌کند و لازم است زمان عملکرد فیوز به این خاطر تصحیح گردد. این زمان توسط فرمول زیر تعیین می‌شود:

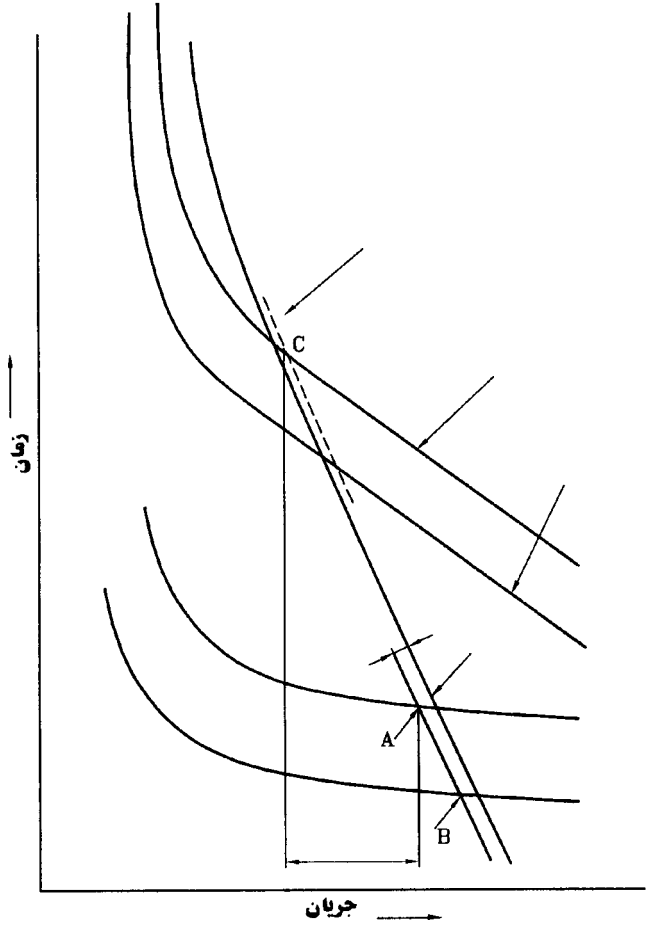
$$t = \left(\frac{I_m}{I_f}\right)^2 . T \qquad (۴_۴۵)$$



شکل (۳۰-۴) تغییرات درجه حرارت اتصال فیوز در حین عملکرد رکلوزر

POWEREN.IR

که t زمان تصحیح است و در واقع به خاطر خنک شدن فیوز، زمان t به زمان ذوب شدن فیوز که از روی منحنی تعدیل شده بدست می‌آید اضافه می‌شود. I_m حداقل جریان برای ذوب فیوز، I_f جریان مربوط به باز بودن رکلوزر و I_f جریان خطا می‌باشد. در عمل، خطایی که از صرف نظر کردن از تاثیر خنک شدن فیوز در فواصل باز بودن مدار توسط رکلوزر حاصل می‌شود بسیار کوچک است. شکل (۳۱-۴) گویای روش نسبتاً دقیقی در تعیین محدوده هماهنگی رکلوزر و فیوز می‌باشد که در آن از اثر خنک شدن فیوز در فواصل باز بودن رکلوزر صرفنظر شده است.



شکل (۳۱-۴) تعیین محدوده هماهنگی بین فیوز و رکلوزر

POWEREN.IR

مشخصه‌های مربوط به رکلوزر (دو مشخصه لحظه‌ای و دو مشخصه با تأخیر) به همراه مشخصه اولیه فیوز[1] و مشخصه تعدیل شده فیوز (مشخصه ۰/۷۵ فیوز) در یک دستگاه مختصات روی محورهای زمان جریان ترسیم شده‌اند [۶و۵].

PowerEn.ir

حد بالای هماهنگی، توسط نقطه تلاقی مشخصه تعدیل شده فیوز و آخرین عملکرد لحظه‌ای رکلوزر (در اینجا عملکرد دوم) که با حرف A روی شکل نشان داده شده است مشخص می‌شود در حالی که حد پائین هماهنگی را نقطه تلاقی مشخصه[2] فیوز و آخرین عملکرد تأخیری رکلوزر که در شکل با حرف C نشان داده شده است، تعیین می‌کند.

برای جریان‌های خطای بین B و A، هماهنگی فقط هنگامی میسر است که خطا بعد از اولین عملکرد لحظه‌ای رکلوزر رفع شده باشد. به ازای جریانهای بزرگتر از B هماهنگی وجود ندارد زیرا فیوز زودتر از رکلوزر عمل می‌کند و به این ترتیب در صورتی که خطا گذرا باشد، رکلوزر نمی‌تواند از عملکرد بی‌مورد فیوز جلوگیری کند. برای جریانهای کمتر از C، قبل از اینکه فیوز بتواند عمل کند رکلوزر سیکل کامل عملکرد خود را طی کرده و در وضعیتی باز قفل می‌شود به شرط اینکه جریان از مقدار حداقلی که برای عملکرد رکلوزر لازم است بیشتر باشد و این جریان دو برابر جریان نامی رکلوزر است.

از روش شکل (۳۱-۴) آشکار است که محدوده هماهنگی از شیب مشخصه فیوز متأثر می‌شود. شیب تند مشخصه فیوز (که مربوط به فیوزهای سریع است) محدوده هماهنگی را کوچک کرده در حالی که شیب ملایم (مربوط به فیوزهای کند) محدوده هماهنگی را وسیع‌تر می‌کند. بنابراین اغلب از فیوزهای کند به همراه رکلوزرها استفاده می‌شود. ضمناً اندازه فیوز توسط الزامات هماهنگی با رکلوزر مشخص می‌شود تا جریان بار و اغلب هنگامی که از فیوزها به همراه رکلوزر در یک سیستم استفاده می‌شود، جریان نامی بزرگتری برای فیوزها انتخاب می‌شود. فیوزهای dual mode برای ایجاد هماهنگی با رکلوزرها ساخته شده‌اند. چنین فیوزهائی دارای مشخصه سریع در جریانهای زیاد و عملکرد کند در جریانهای کم هستند.

POWEREN.IR

1- Pre-arcing Characteristic

2- Time Total Clearing

۹ـ۴ـ استفاده از فیوز برای محافظت

PowerEn.ir

به طوری که دیدیم 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 زیاد را برای مدت کوتاه‌تر بدون آسیب‌پذیری تحمل کنند. بنابراین ملاحظه می‌شود که به علت تطابق مشخصات فیوزها با خصوصیات حرارتی وسایل برقی، فیوزها طبیعی‌ترین وسایل حفاظتی محسوب می‌گردند.

۱ـ۹ـ۴ـ محافظت سیمها و کابلهای انشعابهای معمولی

برای حفاظت سیمها و کابلهای انشعابهای معمولی که موتورهای برقی را تغذیه نمی‌کنند و در لحظهٔ شروع، برای مدت قابل ملاحظه‌ای جریانهای زیادی از مدار نمی‌گیرند، فیوز استانداردی که اندازهٔ اسمی آن برابر جریان مجاز سیم یا کابل است یا کمی با آن اختلاف دارد انتخاب مـی‌گردد. چنین فیوزی هم در صورت بار اضافی و هم در صورت اتصال کوتاه ذوب شده، مدار را قطع می‌کند و با جدا نمودن قسمت معیوب مدار بقیه مدار یا شبکه را مصون نگاه می‌دارد. برای مثال در مورد بعضی سیمها با نحوهٔ نصب متفاوت و درجه حرارتهای مختلف محیط، اندازهٔ فیوز مربوطه در جدول (۶ـ۴) آمده است.

در سیستم‌هایی که سیم نوترال زمین شده است مقررات، نصب فیوز روی آن را مجاز نمی‌داند.

POWEREN.IR

جدول (۵-۴): اندازه فیوز مربوط به سیم‌های مختلف

سطح مقطع سیم میلیمتر مربع	گروه۱ - چندسیم در لوله		گروه۲ - سیم چند لایه در هوا		گروه۳ - چند سیم یک لایه در هوا	
	۲۵ درجه	۴۵ درجه	۲۵ درجه	۴۵ درجه	۲۵ درجه	۴۵ درجه
۰/۷۵	—	—	۱۰	۶	۱۶	۱۰
۱	۱۰	۶	۱۵	۱۰	۲۰	۱۶
۱/۵	۱۵	۱۰	۲۰	۱۵	۲۵	۲۰
۲/۵	۲۰	۱۵	۲۵	۲۰	۳۵	۲۵
۴	۲۵	۲۰	۳۵	۲۵	۵۰	۳۵
۶	۳۵	۲۵	۵۰	۳۵	۶۳	۳۵
۱۰	۵۰	۳۵	۶۳	۵۰	۸۰	۵۰
۱۶	۶۳	۵۰	۸۰	۶۳	۱۰	۶۳
۲۵	۸۰	۶۳	۱۰۰	۸۰	۱۲۵	۱۰۰
۳۵	۱۰۰	۸۰	۱۲۵	۱۰۰	۱۶۰	۱۲۵
۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۱۶۰	۱۲۵	۲۰۰	۱۶۰
۷۰	۱۶۰	۱۲۵	۲۲۵	۱۶۰	۲۶۰	۲۰۰
۹۵	۲۰۰	۱۶۰	۲۶۰	۲۰۰	۳۰۰	۲۲۵
۱۲۰	۲۲۵	۲۰۰	۳۰۰	۲۲۵	۳۵۰	۲۶۰
۱۵۰	—	—	۳۵۰	۲۶۰	۴۰۰	۳۰۰
۱۸۵	—	—	۴۰۰	۳۰۰	۴۳۰	۳۵۰
۲۴۰	—	—	۴۳۰	۳۵۰	۵۰۰	۴۳۰
۳۰۰	—	—	۵۰۰	۴۰۰	۶۳۰	۵۰۰
۴۰۰	—	—	—	—	۸۰۰	۵۰۰
۵۰۰	—	—	—	—	۱۰۰۰	۶۳۰

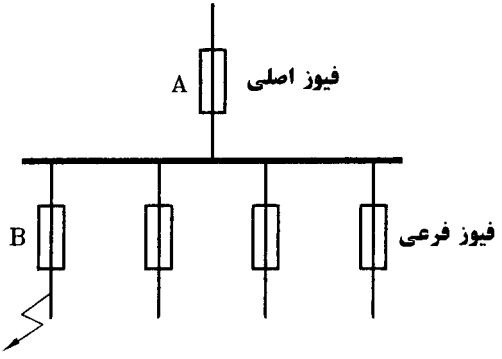
POWEREN.IR
PowerEn.ir

۲-۹-۴-فیوز بندی مدارهای برق رسانی

در سیستم‌های برق رسانی که سطح مقطع قسمتهای مختلف خط برحسب جریان آن مختلف است، لازم است برای حفاظت هر قسمت، فیوز مناسبی به کار ببریم. فیوزبندی اینگونه خطوط که سیستمهای شعاعی را نیز شامل می‌شود باید به نحوی باشد که در صورت پیش آمدن هر عیبی فیوز

محافظ نزدیک به محل عیب عمل نماید و از قطع غیرضروری قسمتهای سالم جلوگیری به عمل آید. به این منظور حتماً باید فیوز قبلی حداقل یک پله از فیوز بعدی بزرگتر انتخاب گردد؛ در مورد فیوزهای سریع بهتر است این اختلاف، برابر دو پله در نظر گرفته شود. به همین دلیل در صورتی که در این خطوط از فیوزهای سریع و تأخیری هر دو استفاده شود حتماً فیوز سریع را قبل از فیوز تأخیری قرار می‌دهیم.

در سیستم‌های برق رسانی که سطح مقطع‌های قسمت‌های مختلف خط برحسب جریان آن مختلف است، لازم است برای حفاظت هر قسمت فیوز مناسبی بکار رود.



شکل (۳۲ـ۴): شمای یک شبکهٔ شعاعی حفاظت شده بوسیلهٔ فیوز

برای مثال در شکل (۳۲-۴) در صورت اتصال کوتاه در محل نشان داده شده، ابتدا باید فیوز B عمل کند و در صورت عدم قطع، برای حفاظت اصولی، فیوز A می‌بایست خط را پشتیبانی نماید. به عبارت دیگر زمان قطع فیوز A باید بیشتر از فیوز B باشد تا ابتدا فیوز B عمل کند.

به هر ترتیب برای انجام یک محافظت صحیح و مطمئن و رعایت هماهنگی[1] نیاز به منحنی‌های قطع فیوزها داریم. همچنین در صورتی که طول قسمتی کمتر از یک متر باشد به شرط اینکه فیوز قسمت قبل حداکثر سه پله بزرگتر از فیوز قسمت کوتاه باشد، حذف فیوز قسمت کوتاه مجاز است.

در صورتی که مداری به چند انشعاب موازی تقسیم شود محافظت هر یک از قسمت‌ها بسته به ظرفیت مجاز آن ضروری است.

1- Selectivity

۳ـ۹ـ۴ـ محافظت انشعاب موتورها

در موتورهای القایی ممکن است جریان شروع تا حدود ۷ برابر کامل باشد. بنابراین در صورتی که انتخاب فیوز محافظ براساس جریان اسمی انجام شود و به جریان راه‌اندازی توجه نشود فیوز در زمان راه‌اندازی خواهد سوخت. به این منظور در استانداردهای آلمانی برای موتورهای القایی بدون راه‌انداز که مستقیماً به منبع تغذیه متصل می‌شوند کوچکترین فیوزی را اختیار می‌کنند که ۶ برابر جریان اسمی را برای مدت ۵ ثانیه تحمل کند. در مورد موتورهایی که به راه‌انداز ستاره – مثلث مجهزند، کوچکترین فیوزی اختیار می‌شود که ۲ برابر جریان اسمی را به مدت ۱۵ ثانیه تحمل کند. در استاندارد آمریکایی اندازهٔ فیوز سریع را ۳ برابر جریان اسمی موتور و اندازهٔ فیوز تأخیری را ۱/۷۵ برابر جریان اسمی موتور انتخاب می‌کنند.

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 محاسبهٔ اندازهٔ فیوز، جریان شروع بزرگترین موتور و جریان اسمی بقیه موتورها در نظر گرفته می‌شود.

لازم به تذکر است که فیوزهایی که به ترتیب فوق‌الذکر انتخاب می‌شوند دارای اندازه‌های خیلی بزرگتر از جریان مجاز موتورها و سیمهای انشعابها می‌باشند و لذا موتور و مدار را در مقابل بار اضافی حفاظت نمی‌کنند. لذا استفاده از این‌گونه فیوزها تنها زمانی جایز است که موتورها به وسیلهٔ حفاظت در مقابل بار اضافی مجهز باشند. در این صورت فیوز مدار انشعاب، موتور و وسایل کنترل موتور را در مقابل اتصال کوتاه، محافظت می‌کند و وسیلهٔ حفاظت موتور، مدار را در مقابل بار اضافی محافظت می‌نماید.

۴ـ۹ـ۴ـ حفاظت موتورها در مقابل بار اضافی

به طوری که در بالا به آن اشاره شد وسایل حفاظت مدار انشعابهای موتورها شامل دو وسیله است؛ یکی وسیلهٔ حفاظت انشعاب که کارش حفاظت سیمها، کنترل کننده و موتور علیه جریانهای اتصال کوتاه است. دیگری حفاظت علیه بار اضافی است که کار حفاظت موتور، کنترل کننده و وسیلهٔ قطع سیمها را علیه بارهای اضافی عهده‌دار است. همچنین در صورتی که موتور قادر به شروعِ گردش نباشد این وسیله، سبب قطع برق موتور می‌گردد. لیکن در مورد اتصال کوتاه نقشی ایفا نمی‌کند.

وسیلهٔ حفاظت در برابر اضافه بار باید طوری عمل کند که هیچگونه آسیبی به موتور و دیگر وسایل وارد نشود. بسیاری از موتورهای امروزی برای حفاظت در مقابل بار اضافی، به وسیلهٔ حفاظت

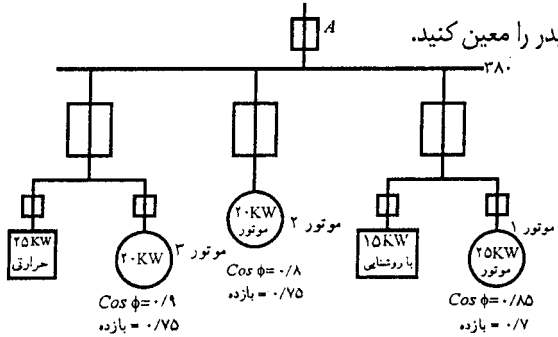
POWEREN.IR
Powered by

حرارتی (بی متال) مجهز هستند که در صورت افزایش درجه حرارت از حد مجاز، سبب قطع موتور می‌گردد. این وسایل به وسایل خارجی دیگر نظیر فیوزها و کلیدهای با قطع خودکار ارجح هستند، که در صورت گرم شدن دمای محیط هم حفاظت موتور را تأمین می‌کنند.

در موتورهایی که به این وسیله مجهز نیستند از فیوزها یا کلیدهای با قطع خودکار استفاده می‌شود که در صورت افزایش جریان از حدی معین، مدار را سریعاً قطع می‌کنند.

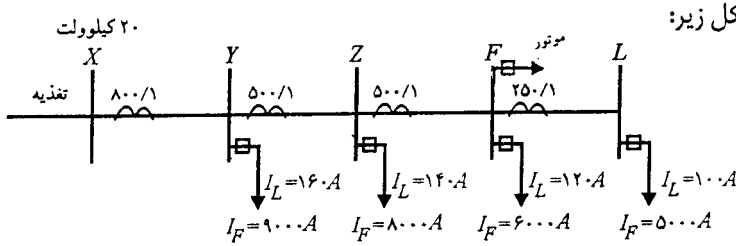
مسائل:

۱- شکل زیر که یک سیستم توزیع ۳۸۰ ولت است نشان داده شده است. جریان راه اندازی موتور یک ۶ برابر جریان نامی و جریان راه اندازی موتورهای ۲ و ۳، هفت برابر جریان نامی آنها است. اگر منحنی مشخصه فیوزهای بکار رفته (مطابق شکل ۳۵ـ۴) بوده و I^2t های فیوزها نیز مطابق شکل ۳۶ـ۴ باشند نوع فیوزهای هر فیدر را معین کنید.



شکل (۳۳ـ۴): شکل مسئله ۱

۲- در شکل زیر:



مشخصات موتور واقع در F (۱۵KW= موتور، (بارکل × ۶)= جریان راه‌اندازی، Cos ϕ = ۰/۸، ۰/۷۵= بازده)

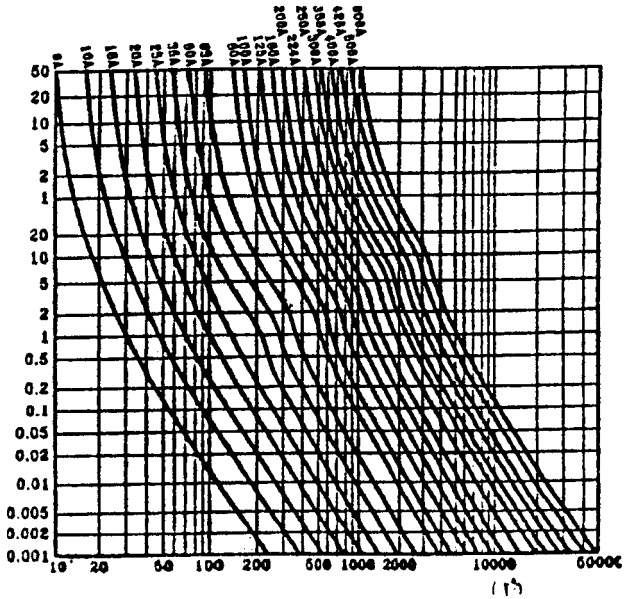
شکل (۳۴ـ۴): شکل مسئله ۲

POWEREN.IR

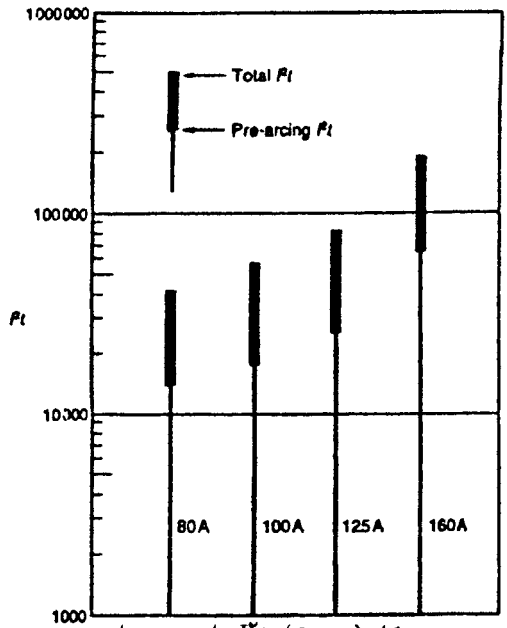
اطلاعات مربوطه نشان داده شده است اگر مشخصات فیوزهای بکار رفته مطابق شکل‌های ۳۵ـ۴ و ۳۶ـ۴ بوده و رله‌های جریان زیاد نیز از نوع جریان زیاد معکوس معمولی باشند، نوع فیوزها و همچنین

ضرایب تنظیم جریان و زمانی رله‌ها را پیدا کنید.

PowerEn.ir



شکل (۳۵ـ۴): منحنی مشخصه فیوزها



شکل (۳۶ـ۴): I^2t های فیوزها

POWEREN.IR

مراجع:

PowerEn.ir

1.ANSI/IEE Std: 242-1986 "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commertcial Power System", 1986.

2.GEC Measurment, "Protective Relay Application Guide", The General Electric Company, of England, 1995.

3.C.D. Pool, "Electric Distribution in Building", Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994.

4.Siemens, "Electrical Installation Hand Book", 1987.

5.Turan Gunen, "Electric Power Distribution System Engineering", Mc Graw Hill, 1987.

6. Westinghouse Electric Corporation: "Electric Utility Engineering Refrence Book, Distribution System", East Pittsburgh, Vol.3,1965.

7.A.Wright, P.G.Newberg, "Electric Fuses", IEE,124,Nov.1977.

۸. خلوتی فهلیانی – داریوش، "هماهنگی رله‌های جریان با استفاده از سیستمهای خبره"، پایان نامهٔ دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، اسفند ۱۳۷۲.

۹. تحقیقات و تکنولوژی استانداردها، "استاندارد عناصر و سیستمهای حفاظتی در شبکه‌های توزیع و فوق توزیع"، انتشارات وزارت نیرو، تیرماه ۱۳۷۷.

POWEREN.IR

PowerEn.ir

فصل پنجم

حفاظت دیستانس

مقدمه

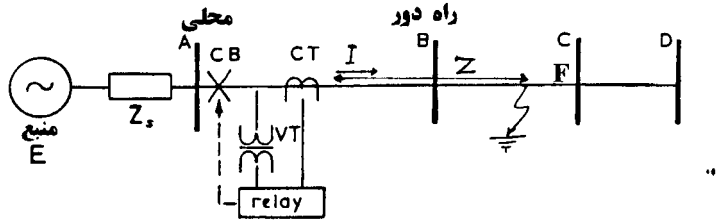
رله‌های دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال به کار می‌روند و از آنجا که فاصله عیب را با اندازه‌گیری امپدانس مشخص می‌کنند، بدین نام مشهور شده‌اند. به طور کلی وقتی اتصالی در شبکه رخ می‌دهد اینگونه رله‌ها نقش حفاظتی خط و تعیین فاصله اتصالی تا رله را به عهده دارند. معمولاً حفاظت اصلی خطوط انتقال رله‌های دیستانس و حفاظت پشتیبان این خطوط، رله‌های جریان زیاد هستند. دلیل این امر آنست که زمان عملکرد رله‌های دیستانس بر روی خطی که رله روی آنست بسیار کم و زمان عملکرد رله جریان زیاد، نسبتاً زیاد است.

۵-۱ اصول کار رله‌های دیستانس

رله‌های دیستانس صرفنظر از انواع مختلف آنها، بر مبنای اندازه‌گیری فاصله الکتریکی رله تا محل خطا کار می‌کنند. در مواقعی که حداقلِ جریان خطا قابل مقایسه با جریان بار باشد، این رله‌ها کاربرد وسیعی پیدا می‌کنند و این از آنجا ناشی می‌شود که رله‌های دیستانس به جریان حساس نیستند، بلکه امپدانس ظاهری (فاصله الکتریکی) تا محل خطا را می‌سنجند. رله‌های دیستانس دارای یک امپدانس داخلی به نام (امپدانس تنظیم رله) می‌باشند. این امپدانس (Z_0)، برابر امپدانس قسمتی از خط است که رله باید آن قسمت را مورد حفاظت قرار دهد. شکل (۱-۵) مدار تونن شبکه را از دید رله نشان می‌دهد که در آن رله نیز مشخص شده است. در این شکل، Z امپدانس معادل خط و Z_L امپداس بار می‌باشد. تنظیم رله نیز برابر با Z_1 می‌باشد که این مقدار برابر است با $Z_1 = B \times Z$ که B ضریب کوچکتر از واحد می‌باشد. رله در حالتی که نسبت $\frac{V}{I}$، یعنی امپدانس دیده شده توسط رله و یا امپدانس خط، کمتر از Z_1 باشد، عمل می‌کند[۳]. در حالت عادی $\frac{V}{I} = Z_L + Z > Z_1$ و در نتیجه رله عمل نخواهد کرد. در صورتیکه در محدوده عملکرد رله، خطایی ایجاد گردد (نقطه A)، نسبت $\frac{V}{I}$ کوچکتر از Z_1 خواهد شد که در نتیجه، رله عمل می‌کند. دیده می‌شود که افزایش جریان، موجب

عملکرد رله و افزایش ولتاژ موجب عمل نکردن آن می‌شود. بدین علت به جریان، «کمیّت عمل کننده» و به ولتاژ «کمیّت باز دارنده» اطلاق می‌شود.

PowerEn.ir



شکل (۱-۵): مدار تونن شبکه از دید رله

۲-۵ ساختمان رلهٔ دیستانس

این رله با دو عنصر ولتاژ و جریان سر و کار دارد و نسبت این دو پارامتر را می‌سنجد. یعنی در اصل از دو ترانس ولتاژ و جریان تشکیل شده است. به طور کلی می‌توان گفت که یک رله دیستانس از قسمتهای زیر تشکیل شده است[۴]:

عضو تحریک‌کننده

عضو سنجشی رله دیستانس (عضو زمانی)

عضو جهت یاب

تعداد زیادی رله کمکی

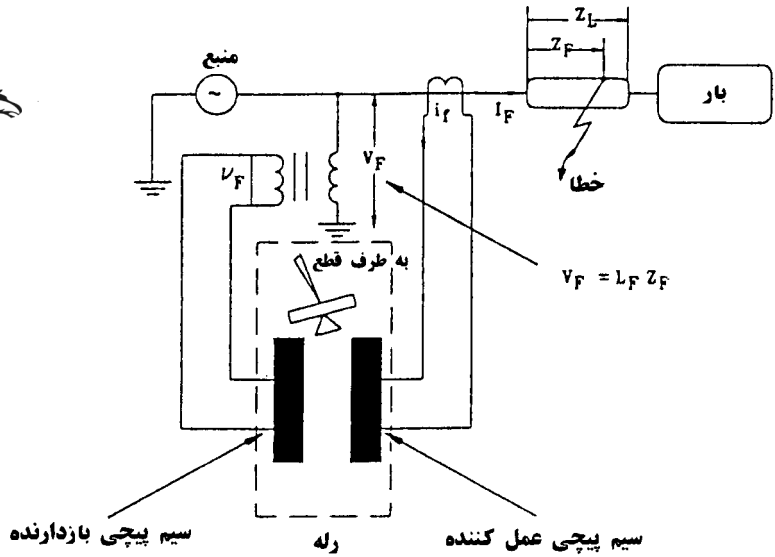
طرز کار بدین صورت است که از سیم‌پیچ عمل کننده [۱] از شکل (۲-۵) جریانی متناسب با جریان اتصال کوتاه می‌گذرد و هنگامیکه جریان خطا به یک آستانه رسید، این سیم پیچ تحریک شده و کنتاکتهای مربوطه را به هم وصل می‌کند در نتیجه رله عمل کرده و مدار قطع می‌گردد و در ضمن سیم‌پیچی، که سیم پیچ بازدارنده [۲] نام دارد نیروی مقاوم یا نیروی باز دارنده را تولید می‌کند و باعث تولید گشتاور در خلاف جهت گشتاور حاصل از سیم پیچ عمل‌کننده می‌گردد.

لذا هر چه ولتاژ بیشتر باشد یا نقطه اتصال کوتاه از رله دورتر باشد، نیروی سیم پیچ بازدارنده شماره ۳ بیشتر شده و در اصل مقاومت ظاهری خط تا نقطه اتصالی بیشتر می‌شود.

به طور کلی در یک رله دیستانس از یک تحریک جریان زیاد و یک تحریک ولتاژ کم و در نتیجه از تحریک توسط امپدانس کم استفاده می‌شود. در تحریک توسط جریان زیاد از یک رله جریان زیاد که برای ۰/۸ تا ۲ برابر جریان نامی ترانسفورماتور جریان قابل تنظیم است، استفاده می‌شود و

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۲-۵): ساختمان رلهٔ دیستانس [۴]

می‌توان با توجه به نوع شبکه، در مواقعی که نقطه صفر ستاره آن ایزوله باشد، از دو رله استفاده کرد. در مواقعی که شبکه مستقیماً به زمین وصل شده باشد از سه رله استفاده می‌کنند، البته رله سوم، رله اتصال زمین می‌باشد. تحریک توسط رله‌های جریان زیاد در شبکه‌هایی قابل استفاده است که حداقل جریان اتصال کوتاه فازی، از ماکزیمم جریان کار عادی و نرمال شبکه بیشتر باشد.

ولی در تحریک توسط امپدانس کم نباید حداقل جریان اتصال کوتاه، از ماکزیمم جریان عادی شبکه بیشتر شود. تحریک کننده امپدانس کم، نسبت ولتاژ و جریان را می‌سنجد.

۳-۵ انواع رله‌های دیستانس

در قسمتهای قبل مشخص شد که رله‌های دیستانس با توجه به «امپدانس تنظیم» عمل می‌کنند. این امپدانس مقداری مختلط است در نتیجه دارای دامنه و فاز خواهد بود. با توجه به این موضوع می‌توان محدوده عملکرد رله‌ها را در صفحه مختلط R-X توسط یک منحنی بیان نمود.

یک رله دیستانس باهر نوع منحنی مشخصه‌ای دارای سه ناحیه حفاظتی می‌باشد. در ناحیه ۱ معمولاً امپدانس معادل ۸۰٪ خط اول (خط اصلی) تنظیم می‌شود وزمان عملکرد آن خیلی سریع یعنی حدود ۰/۰۱ ثانیه است و بعنوان حفاظت اصلی خط بکار می‌رود. علت اینکه کل خط اصلی بعنوان تنظیم ناحیه اول انتخاب نمی‌شود آنست که بواسطه خطاهای ناشی از ترانسفورماتور جریان

بعنوان تنظیم ناحیه اول انتخاب نمی‌شود آنست که بواسطه خطاهای ناشی از ترانسفورماتور جریان یا ولتاژ، عملکرد این رله با رلهٔ روی خط بعدی همزمان نباشد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

امپدانس تنظیم ناحیه دوّم رله معمولاً برابر کل امپدانس خط اصلی باضافه حدود ۵۰٪ امپدانس خط بعدی است و زمان عملکرد آن حدود ۰/۴ ثانیه است. ناحیه سوّم رله دیستانس دارای امپدانس تنظیمی برابر کل خط اول باضافه کل خط دوّم بعلاوه حدود ۲۵٪ خط سوم است. بدیهی است زمان عملکرد این ناحیه حدود ۰/۸ ثانیه است.

در زیر انواع مختلف مشخصه‌ها را مختصراً ذکر می‌کنیم [۳و۴]:

۱-۳-۵- رلهٔ دیستانس با مشخصهٔ امپدانسی یا تخت[1]

این رله ساده‌ترین رله از نظر ساختمان و عملکرد می‌باشد. مشخصه این رله دایره‌ای است که مرکز آن مبدأ مختصات و شعاع آن به اندازهٔ قدر مطلق امپدانس تنظیم آن (Z_s) می‌باشد. در شکل (۳-۵) مشخصه این رله نشان داده شده است. در این شکل، ψ زاویه امپدانس خط AB است. این رله فقط به دامنه امپدانس رله تا محل خطا حساس است و برای خطاهاییکه قدر مطلق امپدانس رله تا آن خطا کمتر از $|Zs|$ باشند صرفنظر از جهت جریان خطا، عمل می‌کند.

با توجه به شکل، رله برای خطاهای AB (در جهت دید رله) و BC (در پشت سر رله) عمل می‌نماید، که این عملکرد، بزرگترین عیب این رله است زیرا همانند رله‌های غیرجهت‌دار عمل می‌کند. از اینرو هماهنگی این رله‌ها با یکدیگر مشکل و در بعضی موارد غیر ممکن است به همین دلیل این رله را هیچگاه به تنهایی مورد استفاده قرار نمی‌دهند و همواره به همراه رله‌های دیگر که در ادامه شرح داده می‌شوند از آن استفاده می‌گردد. معادله این رله عبارت است از $Z = |Zs|$ ؛ این معادلهٔ دایره‌ای است که در شکل (۳-۵) نشان داده شده است؛ در رابطه اخیر Z امپدانس خطا و $|Zs|$ امپدانس تنظیمی رله است.

برای آنکه بتوان این رله رابه تنهائی مورد استفاده قرار داد باید آنرا جهت دار کرد. برای اینکار باید محدوده عملکرد این رله را تا حد ممکن در ناحیه اول مختصات قرار دهیم. بهترین زاویه مشخصه المان جهت دار با امپدانس تنظیمی خط مورد حفاظت در حدود ۹۰ درجه می‌باشد. شکل (۴-۵) مشخصهٔ رلهٔ امپدانسی جهت دار را نشان می‌دهد[۵].

معایب این رله را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

-این‌رله جهت خطا را تشخیص نمی‌دهد و در نتیجه استفاده از یک المان جهت‌دار در آن ضروری است.

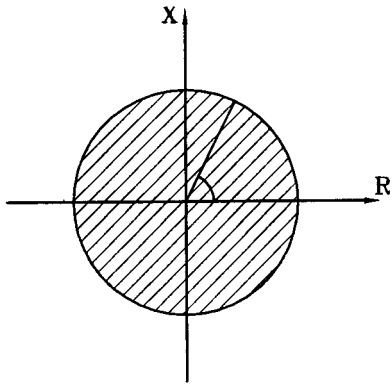
POWEREN.IR

1. Plain Distance Relay

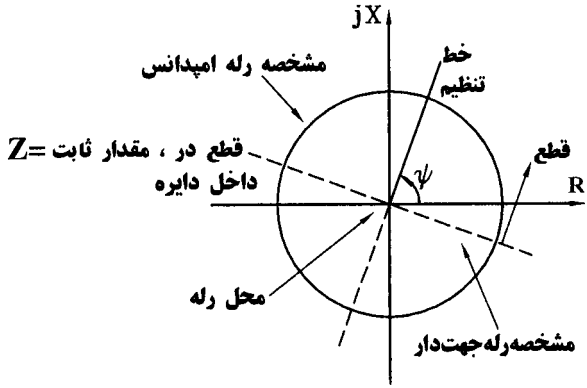
– این رله براثر مقاومت قوس محل خطا، می‌تواند عملکرد اشتباه داشته باشد، زیرا بر اثر مقاومت قوس، بردار امپدانس خطا در روی محور Rها در جهت مثبت کشیده می‌شود و با این کار ممکن است خطا از محدوده عمل این رله خارج شود.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

– بعلت پوشانده شدن محدوده وسیعی از صفحه مختلط توسط مشخصه این رله، عملکرد آن به مقدار زیادی به نوسانات قدرت حساس است. به عبارت دیگر مکان هندسی امپدانس بهنگام نوسانات قدرت پایدار (قابل برگشت به وضع عادی)، داخل مشخصه عملکرد رله قرار می‌گیرد و سبب عملکرد رله می‌شود.



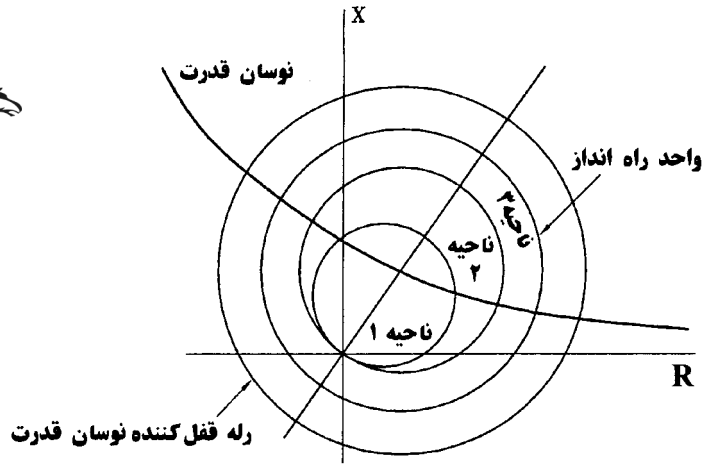
شکل (۳-۵): مشخصه رله امپدانسی



شکل (۴-۵): جهت دار کردن رله امپدانسی

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۵-۵): منحنی نوسانات قدرت شبکه و تلاقی آن با مشخصه رله دیستانس

۲-۳-۵- رله دیستانس با مشخصه مهو [1]

این رله ذاتاً جهت‌دار و محدودهٔ کار آن نیز دایره‌ای است که از مبدا مختصات گذشته و قطر آن برابر امپدانس تنظیمی رله می‌باشد. معادله ریاضی این رله نیز به صورت:

$$|Z| = |Z_s| \cos(\theta - j)$$

بوده که $|Z_s|$ دامنه امپدانس تنظیمی، θ زاویه امپدانس تنظیمی، $|Z|$ دامنه امپدانس خطا و j زاویه امپدانس خطا می‌باشد[۵].

رله مهو علاوه بر جهت دار بودن، ناحیه کمتری از صفحه مختصات را پوشش داده زیرا در مقایسه با رله امپدانسی، برای دو رله با امپدانس تنظیمی یکسان، دایره‌ای با قطر نصف رله امپدانسی به وجود خواهد آمد و از اینرو به نوسانات قدرت پایدار، حساسیت کمتری نشان می‌دهد .

بطور کلی در مورد رله مهو می‌توان گفت:

- رله مهو ذاتاً جهت دار است.

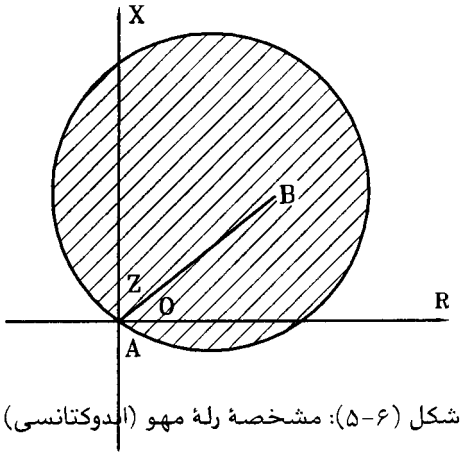
- با توجه به اینکه رله توسط دو عامل امپدانس و زاویه تنظیم می‌شود لذا با تنظیم زاویه رله یعنی θ، این امکان وجود دارد که اثر سوء مقاومت جرقه تا حدود زیادی خنثی شود.

- چون سطح مشخصه رله مهو نسبت به رله امپدانسی کمتر است لذا امکان اینکه مکان هندسی امپدانسی در مقابل نوسان توان پایدار، داخل مشخصه شود کمتر است، لذا رله عمل نمی‌کند.

POWEREN.IR

1. Mho Distanco Relay

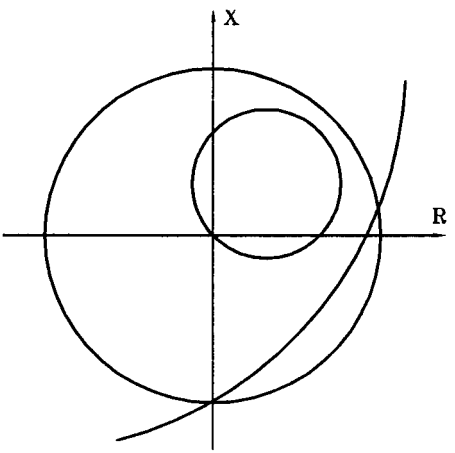
PowerEn.ir



شکل (۶-۵): مشخصهٔ رلهٔ مهو (اندوکتانسی)

۳-۳-۵- رلهٔ دیستانس با مشخصه افست مهو

همانطور که از مشخصه این رله پیداست، علاوه بر در بر گرفتن خط مورد حفاظت در جهت دید خود، قسمتی از خط پشت سر خود را نیز می‌پوشاند. مشخصه افست (قسمتی که پشت سر خود را می‌بیند) معمولاً برای هنگامی استفاده میشود که رله می‌خواهد پشت سر خود را نیز ببیند و آن وقتی است که مثلاً رله اصلی شینه عمل نکرده و این رله به عنوان پشتیبان برای ناحیه پشت سر خود عمل می‌کند. بنابراین به منظور عمل پشتیبانی لازم است فقط ناحیه سوم رله مطابق شکل (۸ـ۵) دارای افست باشد [۶و۴].

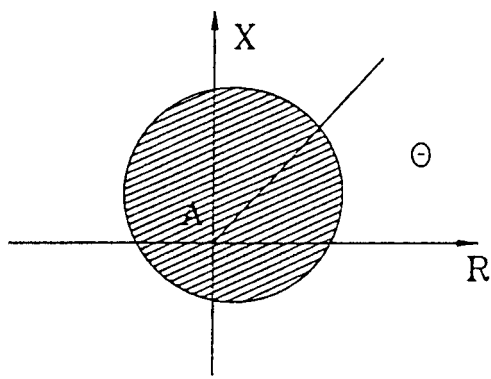


شکل (۷-۵): مقایسه رله مهو و امپدانسی در عملکرد نسبت به نوسانات قدرت

۴-۳-۵ رلهٔ دیستانس با مشخصهٔ راکتانسی

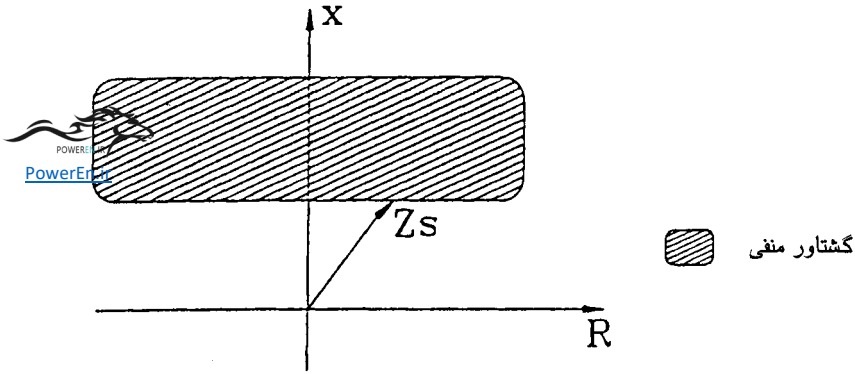
مشخصه این رله یک خط مستقیم موازی با محور افقی است که دارای راکتانس ثابتی می‌باشد و در صورتیکه راکتانس محل وقوع خطا تا رله، کمتر از راکتانس تنظیمی باشد، رله عمل خواهد کرد. بعلت وجود مشخصه خاص، این رله فقط حساس به راکتانس بوده و مقاومت خطا روی آن هیچگونه اثری ندارد. رله به صورت معمولی آن برای تمام خطاهای پشت سر خود و حتی برای شرایط کار نرمال و نوسانات قدرت، عمل خواهد کرد. در واقع این رله برای محدود کردن گستره عملکرد رله‌های دیگر، نظیر رله امپدانسی بکار می‌رود. معادله این رله $X = X_s = Cte$ می‌باشد؛ X راکتانس امپدانس خطا و X_s راکتانس امپدانس تنظیم رله است. منحنی مشخصهٔ رلهٔ راکتانسی مطابق شکل (۹ـ۵) می‌باشد و تنظیم رله متناسب با راکتانس درصد پوشش خط (X_s) است. در اینجا اگر راکتانس دیده شده به وسیلهٔ رله کمتر از X_s باشد، رله عمل می‌کند و اگر بیشتر از آن باشد، رله عمل نخواهد کرد. همانطور که از مشخصه این رله استنباط می‌شود افزایش مقاومت دیده شده خطا، تأثیری در عملکرد رله نخواهد داشت. افزایش مقدار مقاومت، باعث می‌شودکه انتهای بردار امپدانس، انتقال پیدا کند و در نتیجه باز هم در ناحیه عملکرد رله قرار می‌گیرد. به همین دلیل، این رله نسبت به مقاومت خط یا اثر مقاومت جرقه حساس نمی‌باشد [۵و۴].

برای برطرف کردن نواقص این رله، نظیر عملکرد در موقع نوسانات قدرت پایدار، محدوده عملکرد آن را محدود ساخته و از آن رله چهارگوش ساخته می‌شود که در بخش ۶-۳-۵ به آن پرداخته خواهد شد.



شکل (۸-۵): مشخصهٔ رلهٔ افست مهو

PowerEn.ir
POWEREN.IR



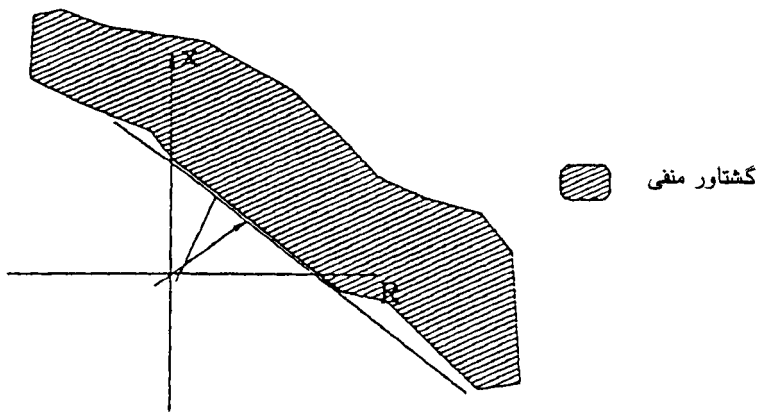
شکل (۹-۵): مشخصهٔ رله راکتانسی

۵-۳-۵- رلهٔ دیستانس با مشخصه اهمی

مشخصه این رله یک خط مستقیم می‌باشد که ضریب زاویه آن می‌تواند تغییر کند. همانند رله راکتانسی این رله به تنهایی به کار برده نمی‌شود، بلکه برای محدود کردن مشخصه دیگر رله‌ها بکار برده می‌شود. معادله این رله عبارتست از [۵و۴و۳]:

$$|Z| = |X_s| \cos(\theta - \varphi)$$

که $|X_s|$ مقدار امپدانس تنظیم و θ زاویه آن و Z امپدانس خطا و φ زاویهٔ آن است.



شکل (۱۰-۵): مشخصهٔ رله اهمی

۶-۳-۵- رله دیستانس با مشخصه کوآد (چهارگوش) [۵و۴و۳]

همانطور که در بخش رلهٔ راکتانسی گفته شد رله کوآد یک رله راکتانسی محدود شده است. اگر تعداد ورودیهای رله استاتیکی را زیاد کنیم مشخصه رله چهارگوش را بدست می‌آوریم.شکل (۱۱-۵) مشخصه رله کوآد یا چهارگوش را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل دیده می‌شود یکی از محاسن

این رله آن است که به راکتانس خطا تا محل رله حساس می‌باشد که البته با توجه به امتداد این مشخصه در جهت محور Rها می‌توان مقاومت محل قوس را نیز در تنظیم رله در نظر گرفت. بنابراین:

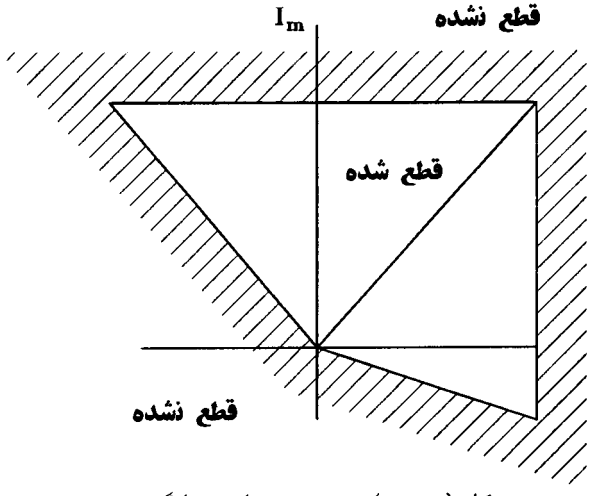
PowerEn.ir

- رله جهت دار است.
- مشکل مقاومت جرقه را تا حدود بسیار زیادی حل کرده است.
- با انتخاب مناسب z (امپدانس تنظیمی) برای این رله و رله مهو، می‌توان از عملکرد در مقابل نوسانات توان پایداری جلوگیری کرد.

با توجه به مزایای یادشده، این رله و همچنین رله مهو، کاربرد وسیعی در شبکه‌های قدرت در دنیا و ایران دارند.

۵-۴- رله‌های تشخیص دهندهٔ نوسان قدرت

یکی از اشکالات رله دیستانس احتمال عملکرد آن در حالت وقوع نوسان قدرت در شبکه است. برای رفع این مشکل یاتشخیص نوسان قدرت از شرایط اتصال کوتاه، رله دیستانس را در شرایط نوسان قفل می‌کنند. رله‌های تشخیص نوسان توان براساس شیوه قفل شدن بر دو نوعند. یکی رله‌های نوسان توان قفل کننده [1] که مشخصه‌شان باید به گونه‌ای باشد که نوسان توان پایدار توسط رله قفل شود. شکل الف (۱۲ـ۵) مشخصه جداکنندهٔ این رله را از نوع افست مهو نشان می‌دهد. نوع دیگر برای قفل رله، دارای ۲ مشخصه اهمی ـ مایل مطابق شکل ب (۱۲-۵) است. تشخیص نوسان از روی ترتیب عملکرد مشخصه‌های اهمی ـ مایل خارجی و داخلی انجام می‌گیرد.



شکل (۱۱-۵): مشخصه رله چهارگوش

POWEREN.IR

1. Power Swing Blocking (PSB)

در حالت وقوع اتصال کوتاه، دو رله تقریبا همزمان عمل می‌کنند. در شرایط نوسان قدرت، ابتدا مشخصه‌های خارجی B_1 یا B_4 و سپس مشخصه‌های داخلی، بعد از یک تأخیر زمانی کوچک عمل می‌کنند. توسط چهار مشخصه اهمی - مایل می‌توان نوسان قدرت را تشخیص داده و عملکرد رله دیستانس را قفل نمود.

PowerEn.ir

شکل (۱۳ـ۵) رله نوسان توان قطع کننده [1] را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر این رله برای قطع کردن نوسانهای شدید قدرت به کار می‌رود. این رله در بعضی مکانها مثلاً اتصال دو شبکه ناهمگون، مانند اتصال شبکه ایران به ترکیه کاربرد دارد.

دو مشخصه اهمی - مایل معمولاً برای تشخیص از بین رفتن سنکرونیزم در شبکه و قطع مدار بکار می‌روند.

در شرایطی که از مشخصه‌های اهمی استفاده میشود، شکل (۱۲-۵)، شیب دو مشخصه در صفحه مختلط امپدانس، موازی با شیب امپدانس خط مورد حفاظت انتخاب شده است که اصطلاحاً مشخصه‌ها را مشخصه‌های اهمی مایل [2] می‌نامند.

این دو مشخصه مطابق شکل (ب ۱۲-۵) در دو طرف امپدانس خط قرار دارند. مشخصه‌ها، دیاگرام امپدانس را به سه ناحیه C، D و E تقسیم می‌کنند. در شرایط نوسان قدرت، امپدانسی که توسط رله اندازه‌گیری می‌شود روی مکان هندسی نوسان قدرت از ناحیه C بطرف E حرکت می‌کند و به این ترتیب از ناحیه C وارد D و از D وارد ناحیه E می‌گردد.

دو مشخصه اهمی همراه با یک سری رله‌های کمکی، شرایط نوسان قدرت را از شرایط خطا تشخیص می‌دهند.

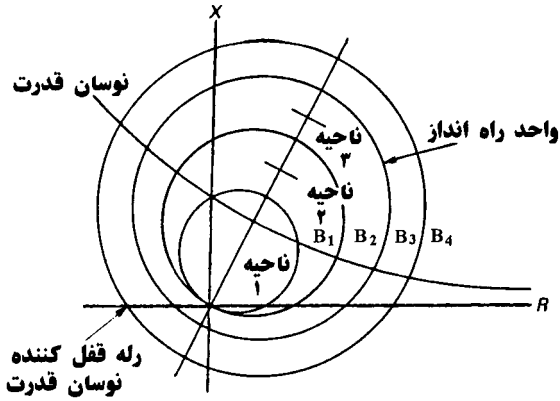
با به وجود آمدن نوسان،امپدانس دیده شده توسط رله از سمت راست به چپ (یا چپ به راست) حرکت کرده و ابتدا مشخصه B_4 عمل می‌کند؛ با عملکرد B_4 یک رله زمان سنج بکار می‌افتد. اگر تا ۵۰ میلی‌ثانیه به بعد مشخصه B_3 عمل نکرده باشد، این رله زمان‌سنج تشخیص میدهد که شرایط نوسان قدرت بوجودآمده و رله دیستانس را قفل می‌کند.

در حالت اتصال کوتاه، B_3 قبل از زمان مذکور عمل کرده و رله زمان سنج به وضع اول برمی‌گردد.

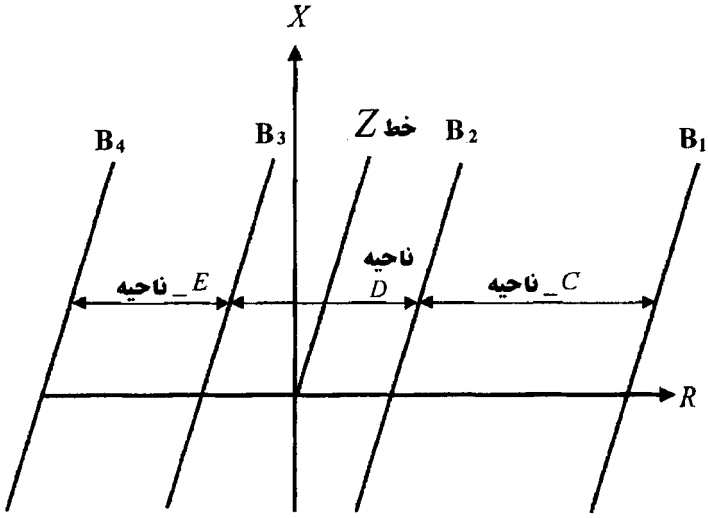
POWEREN.IR

1. Power Swing Tripping
2. Blinder

PowerEn.ir



(الف) رله نوسان توان قفل کننده



(ب) رله نوسان توان قفل کننده اسمی - مایل

شکل (۱۲-۵): مشخصه اهمی تشخیص دهنده نوسان قدرت

۵ـ۵ ورودیهای رله‌های دیستانس [۸]

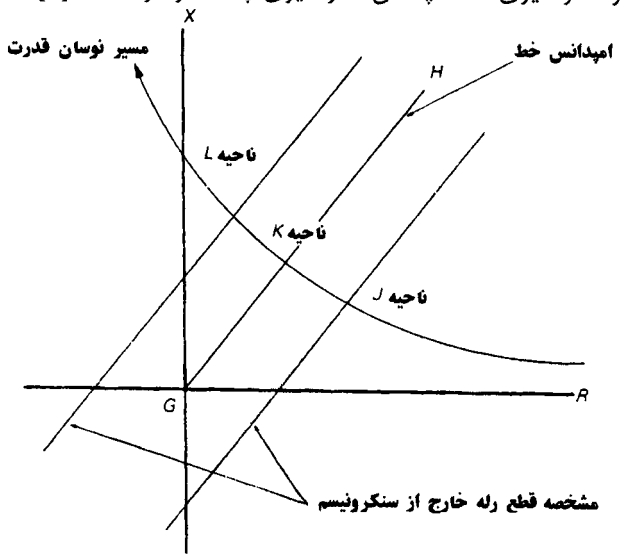
از آنجا که رله‌های دیستانس باید بتوانند پارامتری را تشخیص دهند که متناسب با فاصله محل خطا با رله باشد لذا باید برای انواع خطاهای امپدانس اندازه‌گیری مثبت باشد. به عبارت دیگر حتی برای خطاهای فاز به زمین اگر قرار باشد امپدانس زمین توسط رله دیده شود در این صورت خطاهای همراه با مقاومت زمین و داخل ناحیه حفاظتی ممکن است سبب عملکرد رله نگردند. جهت روشن شدن مطلب شکل (۱۴ـ۵) را در نظر بگیرید.

در این شکل چنانچه ناحیه اول رله دیستانس مستقر در A تا نقطه P، یعنی ۸۰٪ خط AB را ببیند و

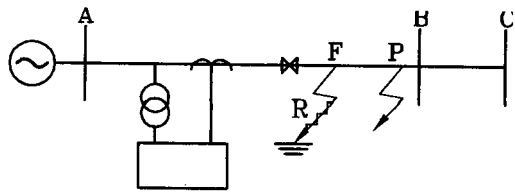
اتصال کوتاه فاز به زمین همراه با مقاومت R در نقطهٔ F اتفاق بیفتد، در رله دیستانس مستقر در A به جای امپدانس مثبت، امپدانس صفر نیز ملاحظه می‌شود. در این صورت چون مقاومت زمین (R) نیز در امپدانس صفر تأثیر خواهد گذاشت لذا مقاومت زیاد R ممکن است سبب گردد امپدانس دیده شده توسط رله، زیاد شده و مقدار آن از امپدانس ۸۰٪ خط AB یعنی امپدانس AP، بیشتر شود و ناحیه اول رله دیستانس آن را نبیند.

PowerEn.ir

بنابراین ورودیها به رله‌های دیستانس باید به گونه‌ای باشند که برای انواع خطاهای مختلف، امپدانس مثبت دیده شود. به منظور تحقق این امر به تحلیل زیر که مربوط به خطاهای زمین و فاز است می‌پردازیم. شکل (۱۵ـ۵) را در نظر می‌گیریم؛ در شکل (۱۵ـ۵) فرض بر این است که امپدانس Z_g قابل صرفنظر کردن باشد؛ به عبارت دیگر $V = E$ در نظر گرفته شود. همچنین به فرض اینکه امپدانس‌های مثبت و منفی و صفر با Z_1 و Z_2 و Z_0 نشان داده شوند، امپدانس اندازه‌گیری شده نسبت به طرف اولیه ترانسفورماتور ولتاژ (V.T) وترانسفورماتور جریان (C.T) را محاسبه می‌کنیم. هدف از این محاسبه این است که برآورد نماییم چنانچه خطاهای فاز به زمین رخ دهد و رله، نسبت ولتاژ به جریان را اندازه‌گیری کند، امپدانس اندازه‌گیری چه مقدار خواهد شد [۵].



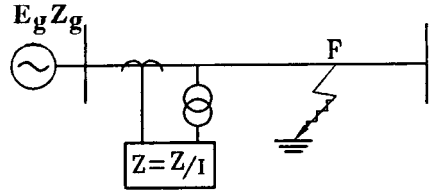
شکل (۱۳ـ۵): نمودار مشخصه رله نوسان قدرت قطع کننده



شکل (۱۴ـ۵) شبکه نمونه همراه با رله دیستانس

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۵ـ۱۵): یک بخش از شبکه نمونه که در نقطه F خطاهای فاز به زمین رخ داده است.

در شکل (۵ـ۱۵) داریم:

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \qquad (۵ـ۱)$$

از طرفی جریان فاز a برابر است با:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = \frac{3E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \qquad (۵ـ۲)$$

در نتیجه امپدانس دیده شده $\frac{E_a}{I_a}$ برابر خواهد بود با:

$$Z = \frac{E_a}{I_a} = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3} = \frac{2Z_1 + Z_0}{3} = Z_E \qquad (۵ـ۳)$$

دیده شده با فرض اینکه $k = \frac{Z_0}{Z_1}$ باشد خواهیم داشت:

$$Z = \left(\frac{2+K}{3}\right)Z_1 \qquad (۵ـ۴)$$

$$Z_1 = \frac{E_a}{I_a\left(\frac{2+k}{3}\right)} \qquad (۵ـ۵)$$

و به عبارت دیگر:

$$Z_1 = \frac{E_a}{I_a\left(\frac{3+k-1}{3}\right)} \qquad (۵ـ۶)$$

و در نتیجه:

$$Z_1 = \frac{E_a}{I_a\left(1+\frac{k-1}{3}\right)} \qquad (۵ـ۷)$$

$$Z_1 = \frac{E_a}{I_a\,(1+n)} \qquad (۵ـ۸)$$

POWEREN.IR

که در آن $n = \frac{K-1}{3}$ می‌باشد. به عبارت دیگر برای خطای فاز a به زمین ورودیهای ولتاژ و جریان به ترتیب E_a و $I_a(1+n)$ در نظر گرفته می‌شوند؛ می‌توان ثابت کرد که ورودیهای مربوط به خطاهای فاز – فاز بستگی به نوع اتصال فاز – فاز دارد. مثلاً برای خطای فاز b – فاز c – ورودیها، $V_b - V_c$ و $I_b - I_c$ خواهند بود.

PowerEn.ir

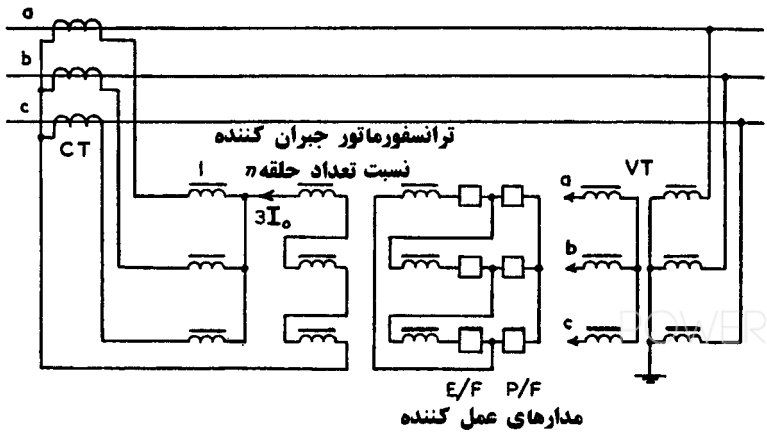
جدول ورودیهای رله‌های دیستانس برای خطای فازی و خطای فاز به زمین در فازهای مختلف در جدول (۱ـ۵) آورده شده است.

جدول (۱-۵): ورودیهای رله‌های دیستانس

نوع خطا		ولتاژ	جریان
خطاهای فازی – زمین	a-e	V_a	$I_a(1+n)$
	b-e	V_b	$I_b(1+n)$
	c-e	V_c	$I_c(1+n)$
خطاهای فازی	a-b	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$
	a-c	$V_a - V_c$	$I_a - I_c$
	b-c	$C_b - V_c$	$I_b - I_c$

به منظور وصل ولتاژها و جریانهای مناسب گفته شده در جدول (۱ـ۵) لازم است از رله‌های کلیددار استفاده شود؛ یعنی راه‌اندازها ابتدا نوع خطا را تشخیص داده و سپس ولتاژ و جریان مناسب را به عنصر اندازه‌گیری اعمال می‌نمایند. به عبارت دیگر برای خطاهای فازی A-B، ولتاژ $V_a - V_b$ و جریان $I_a - I_b$ را به سیم‌پیچ‌های ولتاژ و جریان عنصر اندازه‌گیری وصل می‌کند.

شکل (۶-۵) اتصال ورودی‌های رله‌های فازی و زمین را نشان می‌دهد[۵].



شکل (۱۶-۵): چگونگی اتصال ورودی‌های ولتاژ و جریان

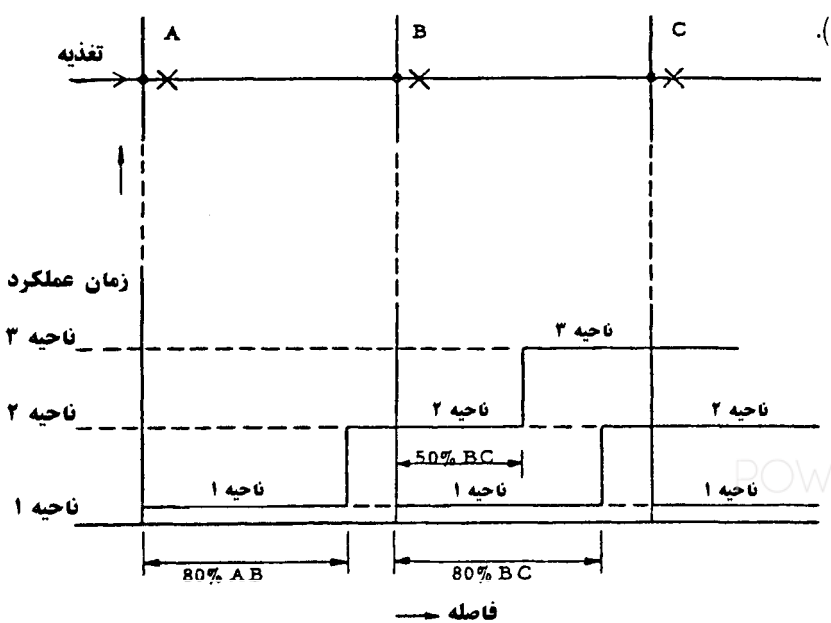
۶-۵ تنظیم و هماهنگی رلهٔ دیستانس

در شبکه‌های قدرت از رله دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال در برابر خطاهای مختلف فاز به فاز و فاز به زمین استفاده می‌شود. این رله به امپدانس ظاهری بین رله تا محل خطا حساس است که این امپدانس مقدار ثابتی ندارد و به جریانهای ورودی - خروجی خط انتقال در ناحیه حفاظتی رله بستگی دارد. رله دیستانس دارای سه ناحیه کاری است. ناحیه اول ناحیه‌ای با عملکرد آنی است که در برابر خطاهای روی خط اصلی، از خط حفاظت می‌کند. ناحیه‌های دوم و سوم، خط اصلی و خطهای مجاور را با ثابت زمانی مشخص حفاظت می‌کنند.

هماهنگی باید به گونه‌ای باشد که نواحی دوم یا سوم هر جفت رله اصلی و پشتیبان با هم تداخل نکنند یا اینکه زمان تاخیر رله پشتیبان به اندازه فاصله زمانی مشخص مثلاً TD_{min} بیشتر از رله اصلی باشد. TD_{min} را اصولاً برابر ۰/۳ ثانیه در نظر می‌گیرند.

چون رله دیستانس دارای سه ناحیه است و یک رله دیستانس حداقل تا سه خط جلو خود را می‌بیند (آن هم بخشی از خط سوم)، لذا تأثیر پشتیبانی رله دیستانس نسبت به رله‌های همجوار به مراتب کمتر از رله‌های جریان زیاد است. بنابراین تنظیم و هماهنگی آن آسانتر خواهد بود.

اصولاً منظور از تنظیم و هماهنگی، بدست آوردن امپدانس تنظیمی سه ناحیه (۱و ۲ و ۳) و زمان تنظیم برای سه ناحیه است. برای تنظیم زمانی معمولاً برای ناحیه اول رله دیستانس ۰/۰۱ ثانیه و ناحیه دوم ۰/۳ تا ۰/۴ ثانیه و ناحیه سوم ۰/۶ تا ۰/۸ ثانیه زمان در نظر می‌گیرند. مطابق منحنی شکل (۱۷-۵)، امپدانس تنظیمی یک شبکه شعاعی برای ناحیه اول، ۸۰٪ خط اصلی و ناحیه دوم، ۵۰٪ خط دوم و ناحیه سوم، خط اصلی و خط دوم، ۲۵٪ خط سوم است. (AB، خط اول و BC، خط دوّم است).



شکل (۱۷-۵): منحنی زمان عملکرد برای حفاظتهای اصلی و پشتیبان اول و دوّم

بنابراین اگر امپدانس خط اول Z_1، امپدانس خط دوم Z_2 و امپدانس خط سوم Z_3 باشد، امپدانس تنظیمی نواحی به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

PowerEn.ir

ناحیه اول:

$$Z_{L1} = ۰/۸\ Z_1$$

$$\text{تنظیم ناحیه اول } Z_{r1} = \frac{|Z_{L1}|}{\cos(\phi_1 - \theta)} \qquad (۵_۹)$$

θ: زاویه تنظیم رله

ϕ_1: زاویه خط اول

ناحیه دوم:

$$Z_{L2} = Z_1 + ۰/۵\ Z_2 \qquad (۵_۱۰)$$

$$Z_{r2} = \frac{|Z_{L2}|}{\cos(\phi_2 - \theta)}$$

ϕ_2: زاویهٔ امپدانس مجموع خط اول و ۵۰٪ خط دوم

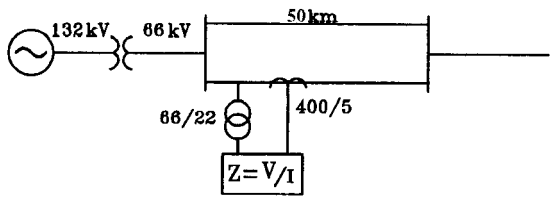
ناحیه سوم:

$$Z_{L3} = Z_1 + Z_2 + ۰/۲۵\ Z_3$$

$$Z_{r3} = \frac{|Z_{L3}|}{\cos(\phi_3 - \theta)} \qquad (۵_۱۱)$$

ϕ_3: زاویه Z_{L3}

در اینجا یک مثال از تنظیم رلهٔ دیستانس آمده است. بدین منظور شکل (۵ـ۱۸) را در نظر بگیرید: [۱و۲].



شکل (۵ـ۱۸): مدارحفاظت شده به کمک رلهٔ دیستانس

رله دیستانسی مورد استفاده، رله دیستانس مهو با زاویه ۴۵° می‌باشد.

تنظیم ناحیه اول رله:

$$Z_{zone1} = ٪۸۰\ Z_{L1}$$

POWEREN.IR

در جهت زوایه خط و نسبت به ظرف اولیه ترانس جریان و ولتاژ

$$Z_{zone(p)} = ۰/۸ \times ۵۰ \times (۰/۲۵ + J۰/۵) = ۲۲/۳۶ \angle ۶۳/۴۰$$

در جهت زاویه رله

$$\frac{۲۲/۳۶}{Cos(۶/۳۴-۴۵)} \times \frac{۲۲۰}{۶۶\times۱۰^{۳}} \times \frac{۴۰۰}{۵} = ۶/۳ \angle ۴۵^{\circ}$$

PowerEn.ir

تنظیم ناحیه دوم:

$$Z_{zon(p)} = Z_{۱} + ۰/۵Z_{۲} = ۵۰ (۰/۲۵ + J۰/۵) + ۰/۵ \times ۳۰ (۰/۲۵ + ۱J۰/۵) = ۳۶/۳۴ \angle ۶۳/۴^{\circ}$$

$$Z_{zon۲} = \frac{۳۶/۳۴}{Cos(۶۳/۴-۴۵)} \times \frac{۲۲۰}{۶۶\times۱۰^{۳}} \times \frac{۴۰۰}{۵} = ۱۰/۲ \angle ۴۵^{\circ}$$

تنظیم ناحیه سوم:

برای تنظیم ناحیه سوم رله $Z_{۳} = Z_{۲}$ را فرض می‌کنیم.

$$Z_{zon۳} = Z_{۱} + Z_{۲} + ۰/۲۵Z_{۳}$$

$$Z_{zon(p)۳} = ۵۰ \times (۰/۲۵ + J۰/۵) + ۳۰ (۰/۲۵ + J۰/۵) + ۰/۲۵ \times ۳۰ (۰/۲۵ + J۰/۵)$$

$$Z_{zon(p)۳} = ۴۸/۹ \angle ۶۳/۴$$

در جهت زاویه رله

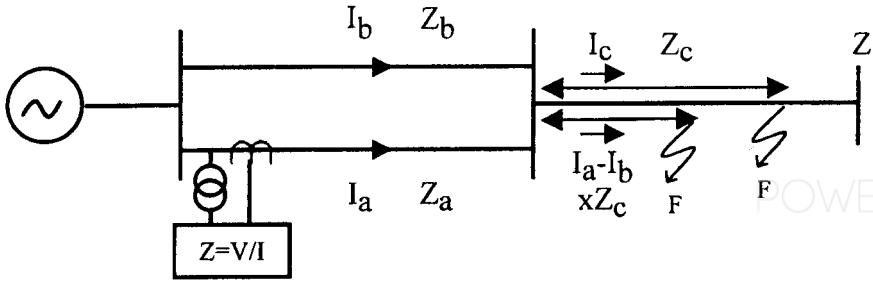
$$Z_{zon(p)۳} = \frac{۴۸/۹}{Cos(۶۳/۴-۴۵)} \times \frac{۲۲۰}{۶۶۰۰۰} \times \frac{۴۰۰}{۵} = ۱۳/۷۵ \angle ۴۵^{\circ}$$

۵-۷- درصد کاهش برد ناشی از خطوط موازی و چند ترمیناله

هنگامیکه رله‌های دیستانس بر روی خطوط موازی یا چند ترمیناله قرار می‌گیرند در وضعیتهای مختلف بار، برد مؤثر آنها به علت جریان‌های تزریقی از خطوط موازی و یا خط انشعابی از خطوط چند ترمیناله، تغییر خواهد کرد. در ذیل به تشریح این دو حالت خواهیم پرداخت [۵و۴و۳].

۵-۷-۱ کاهش برد در خطوط موازی

حالت ۱: وقتی تغذیه از طرف خط موازی B وجود ندارد؛ به عبارت دیگر خط موازی B قطع است.



شکل (۱۹-۵): حفاظت دو خط موازی به کمک رلهٔ دیستانس

$$Z = Z_a + Z_c \qquad (۵-۱۲)$$

که Z تنظیم (پوشانیده شده) یا نقطه‌ای است که رله می‌تواند ببیند.

PowerEn.ir

حالت ۲: وقتی تغذیه از طرف خط موازی B نیز وجود داشته باشد.

که Z تنظیم (پوشانیده شده) یا برد نقطه‌ای که رله می‌تواند ببیند:

$$Z = \frac{v}{I_a} = \frac{I_a Z_a + xZc\,(I_a + I_b)}{I_a} = Z_a + \frac{I_a + I_b}{I_a} xZc \qquad (۵-۱۳)$$

امپدانس پوشانیده شده توسط رله A از خط yz وقتی خط دوم وجود دارد، xZ_c می‌باشد. Z_c امپدانس در خط yz است که به هنگام قطع خط B توسط رله دیده می‌شود.

I_a = جریان از شاخه A

Z_a = امپدانس شاخه A

I_b = جریان از شاخه B

Z_b = امپدانس شاخه B

x = درصدی از امپدانس Z_c که در حالت دو خط موازی پوشانیده شده است

چون طرف اول رابطه (۵-۱۲) و (۵-۱۳) با هم برابرند پس:

$$Z_a + \frac{I_a + I_b}{I_a} xZc = Z_a + Z_c \qquad (۵-۱۴)$$

$$x = \frac{I_a}{I_a + I_b}$$

پس درصد کاهش برد عبارت است از:

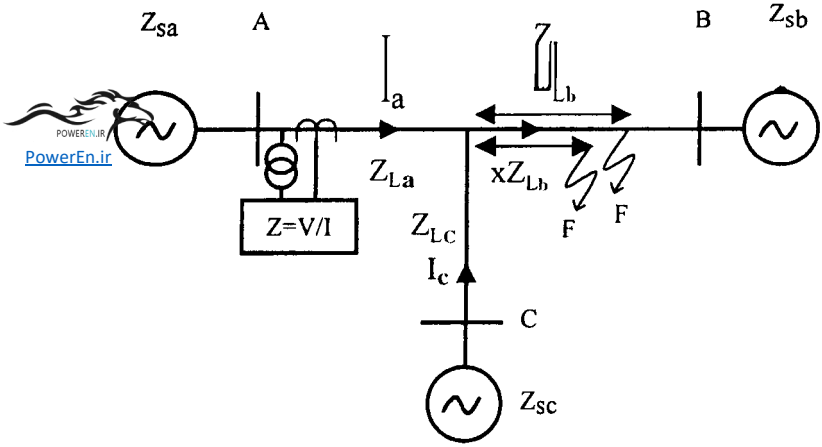
$$(۱-x)\ Z_c = [۱ - \frac{I_a}{I_a + I_b}]\ Z_c = \frac{I_b}{I_a + I_b} Z_c$$

Z_c امپدانس بخشی از خط yz که توسط تنظیم ناحیه دوم رله مستقر در خط A پوشانیده می‌شود (وقتی I_b نباشد).

$$\text{درصد کاهش برد} = \frac{I_b}{I_a + I_b} \times ۱۰۰ \qquad (۵-۱۵)$$

۲ـ۷ـ۵ـ کاهش برد در خطوط چند ترمیناله

شکل (۲۰ـ۵) حفاظت خطوط چند ترمیناله به کمک رله دیستانس را نشان می‌دهد:



PowerEn.ir

شکل (۲۰-۵): حفاظت خطوط چند ترمیناله به کمک رلهٔ دیستانس

مراحل اجرا را همانند خطوط موازی انجام می‌دهیم:

حالت ۱ - وقتی تغذیه از طرف خط C وجود ندارد:

$$Z_1 = Z_{La} + Z_{Lb} \quad : \text{امپدانس تنظیمی رله} \qquad (۵-۱۵)$$

حالت ۲ - وقتی تغذیه از طرف خط C وجود دارد:

$$Z_1 = \frac{V_a}{I_a} = \frac{I_a Z_{La} + I_b xZ_{Lb}}{I_a} \quad : \text{امپدانس تنظیمی رله} \qquad (۵-۱۶)$$

چون $I_b = I_a + I_c$ می‌باشد پس:

$$Z_1 = Z_{La} + \frac{I_a + I_c}{I_a} xZ_{Lb} \qquad (۵-۱۷)$$

طرف دوم رابطه (۵-۱۶) و (۵-۱۷) را مساوی قرار می‌دهیم:

$$Z_{La} + Z_{Lb} = Z_{La} + \frac{I_a + I_c}{I_a} xZ_{Lb} \qquad (۵-۱۸)$$

چون طرف اول دو رابطه (۵-۱۶) و (۵-۱۷) مساویند پس:

$$x = \frac{I_a}{I_a + I_c} \qquad (۵-۱۹)$$

بنابراین درصد کاهش برد عبارتست از:

$$(1-x)\, Z_{Lb} = [1 - \frac{I_a}{I_a + I_c}] Z_{Lb} = \frac{I_c}{I_a + I_c} xZ_{Lb} \qquad (۵-۲۰)$$

$$\text{درصد کاهش برد} = \frac{I_c}{I_a + I_b} \times 100 \qquad (۵-۲۱)$$

POWEREN.IR

مسائل:

۱ – یک نیروگاه در A شامل شش ست ژنراتور – ترانسفورماتور یکسان است. ژنراتورها دارای ولتاژ ۱۱kV و قدرتهای ۱۲۰MW و ۱۵۰MVA می‌باشند و راکتانسهای مثبت و منفی آنها نیز نسبت به مقادیر نامی ۱۸٪ است. مقادیر نامی ترانسفورماتورها ۱۵۰ مگاولت آمپر، ۱۱/۱۳۲kV و D/Y بوده و نقطه ستاره آنها زمین شده‌اند. راکتانس ترانسفورماتور نسبت به مقدار نامی ۱۲٪ است. خط ۱۳۲ کیلوولتی AB دارای ۹۶ کیلومتر طول و $X_1 = ۰/۴۴ \Omega/\text{kW فاز}$ است. فرض کنید که شبکه در حالت بدون بار در ولتاژ نامی کار می‌کند؛ مقاومت اهمی شبکه قابل صرفنظر کردن است. در نقطه A رله‌هایی از نوع سطح قرار دارند که به مینیمم ۳٪ ولتاژ نامی برای عملکرد صحیح نیاز دارند. برای خطاهای سه فاز، مینیمم فاصلهٔ خطا از رله را برای عملکرد صحیح رله برای: (الف) یک ست، (ب) ۶ ست پیدا کنید؟

۲ – فرض می‌شود هر شش ست یاد شده در مسئلهٔ بالا در حال کار باشند و رلهٔ دیستانس در A از نوع مهو و برای ۸۰٪ خط AB تنظیم شده باشد. حال اگر یک نیروگاه کوچک دارای امپدانس منبع $۱۵۸/۵ \Omega/\text{فاز}$ J در ۱۳۲ کیلوولت در وسط خط AB متصل گردد، اولاً محل یک خطای سه فازی که رله به واسطه آن در ناحیهٔ یک ست عمل می‌نماید را پیدا کرده و ثانیاً کاهش برد رله [1] را محاسبه کنید. فرض کنید که منبع‌ها همگی دارای ولتاژ نامی و همفاز باشند.

۳ – ناحیهٔ دوم رله در A (مسئلهٔ ۱) بگونه‌ای تنظیم شده است که وقتی که تغذیه دیگری در B وجود ندارد، ۵۰٪ داخل خط BC را بپوشاند. طول خط BC، ۶۴ کیلومتر فرض می‌شود. حال اگر نیروگاهی، مشابه با A در B متصل شود و همهٔ ۱۲ ست در حال کار باشند، میزان کاهش برد رله در A را محاسبه کنید. در وسط خط AB تغذیه‌ای وجود ندارد.

۴ – در یک رله جبران شده مهو، رله بوسیله اختلاف بین ولتاژهای دو فاز و اختلاف جریانهای وابسته به آن تغذیه می‌گردد. یعنی رله $(I_a - I_t)$ و $(V_a - V_t)$ را اندازه می‌گیرد. امپدانس منبع، قابل صرفنظر کردن است. برای یک خطای فاز b – فاز c نشان دهید که امپدانسهای اندازه‌گیری شده بوسیلهٔ رله‌های a، b و c بترتیب عبارتند از $Z_1 = R_1 + JX_1$ که $۲Z_1 < ۶۰$، Z_1، $۲Z_1 < -۶۰$ امپدانس مثبت خط از رله تا نقطهٔ خطاست. با فرض اینکه مقاومت خطا قابل صرفنظر کردن باشد نشان دهید که: (الف) اگر رله‌های هر کدام دارای تنظیم X_1 وبا زاویهٔ مشخصهٔ ۹۰° باشند، فقط رلهٔ b قطع خواهد کرد. (ب) اگر زاویه مشخصه رله‌ها ۳۰° باشد و تنظیم‌ها نیز چنان باشد که رله b در آستانهٔ عملکرد قرار گیرد، رله a نیز عمل خواهد کرد.

1.Under Reach

۵ - یک خط AB دارای امپدانس Z_L است. امپدانس‌های منابع تغذیه شده در A و B مساوی Z_G هستند و ولتاژ تولید شده توسط آنها نیز همفاز می‌باشد. اگر یک خطای فاز به زمین با مقاومت R در شینهٔ B رخ دهد، نشان دهید که امپدانس اندازه‌گیری شده بوسیله رله $(\frac{V^{an}}{I^{a}})$ عبارتست از:

POWEREN.IR
PowerEn.ir

$$Z_1 + R\ (2 + \frac{Z_L}{Z_G})$$

فرض کنید که دو منبع در نقطهٔ ستاره مستقیماً به زمین وصل شده و همه منابع دارای امپدانس یکسان برای هر سه مؤلفهٔ جریان هستند. اگر رله از نوع راکتانسی باشد و برای ۸۰٪ راکتانس خط تنظیم شده باشد، و $Z_L = ۱۵<۶۰°$ اهم و $Z_G = ۶<۸۰°$ اهم در نظر گرفته شود، نشان دهید که رله (جبران شده) برای اهم $R \geq ۳/۰۴$ قطع خواهد کرد. (بر روی نتایج بحث کنید).

POWEREN.IR

مراجع:

1.H.Askarian Abyaneh, D.Lidgate, "An Assessment of the performance of Distance and IDMT Over Current Relay for Phase Faults on Interconnected Power System Networks", International Conference on Development in Power System Protection, IEE Conference, Edinburgh, March, 1989.

2.H.Askarian Abyaneh, "Assessment of IDMT and Distance Relay Settings", PhD Thesis, The University of Manchester, 1988.

3.Electricity Council, "Power system protection", London: Macdonald, vol.1, 1982.

4.H.G.Farlay, L.G.Hjos, "Larg Induction Motors Field Test on Locked Rotor Protection", IEEE Power Delivery, vol.3 No.2, 1988.

5.A.E. Guil,W. Paterson, "Electrical Power Systems", Edinburgh: Oliver & Boyd, vol.1,19972.

6.J.R.Marti, L.R.Linars, H.W.Domel, "Current Transformers and Coupling - Capcitor Voltage Transformer in Real Time Simulation", IEEE Transaction on Power Delivery, vol.12, No.1, January 1997.

7.J.V.H.Sanderson, "Keynote Address on Protection On Protection of Industrial Power System", Symposium on Protection of Industrial Power Stystem, UMIST, Sept, 1987.

8.Short Run Press Ltd, "Power System Protection", Institution of Electrical Engineer, London 1995.

POWEREN.IR
PowerPoint

PowerEn.ir

POWEREN.IR

PowerEn.ir

فصل ۶

حفاظت تفاضلی

مقدمه

سیستمهایی که فقط برای ناحیهٔ حفاظتی تعریف شده عمل می‌کنند و در خارج از آن ناحیه به هیچ وجه عمل نمی‌نمایند، سیستمهای حفاظت واحد[1] نامیده می‌شوند. یکی از انواع مشهور این سیستمها، حفاظت تفاضلی است.

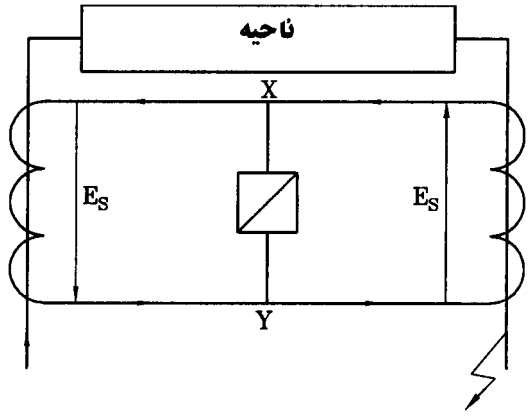
حفاظت تفاضلی از نوع حفاظت انتخاب کننده[2] مطلق می‌باشد. اساس کار این نوع حفاظت برمبنای اندازه‌گیری دامنه و زاویه جریانهای دو طرف ناحیه حفاظت شده می‌باشد. در این نوع سیستمها اغلب از سیمهای پایلوت به عنوان یک واسطه ارتباطی استفاده می‌شود که جهت حفاظت خطوط کوتاه به کار می‌رود. امروزه از این سیستم جهت خطوط بلند استفاده می‌شود با این تفاوت که در این حالت PLC[3] یا میکروویو، جهت واسطه ارتباطی به کار گرفته می‌شوند. پس این نوع حفاظت نیز حتماً احتیاج به یک سیستم ارتباطی دارد و بدون ارتباط، حفاظت وجود نخواهد داشت؛ به همین خاطر در طرحهای عملی، در کنار این سیستم از حفاظت انتخاب کننده نسبی نیز کمک گرفته می‌شود.

حفاظت تفاضلی بیشتر در مورد ترانسفورماتورها وژنراتورها به کار برده می‌شود. در این حفاظت معمولاً دو سری ترانسفورماتور جریان داریم که دروازه‌های ورودی و خروجی (مرزهای) به آن ناحیه

1- Vnit scheme
2- Selective
3- Power Line Carrier

POWEREN.IR

حفاظتی هستند. جریان ورودی به ناحیه حفاظت شده باید با جریان خروجی از ناحیه در شرایط ایده‌آل سالم برابر باشد. وقتی روی سیستم خطا وجود دارد دیگر این دو جریان مساوی نیستند پس می‌توانیم بگوییم رلهٔ تفاضلی بر اساس اختلاف جریان بین ورودی و خروجی عمل می‌کند. وقتی خطایی رخ نداده باشد، جریان ورودی و خروجی برابرند. جریان از رله نمی‌گذرد امّا وقتی خطا در داخل ناحیهٔ حفاظت شده رخ دهد این اختلاف از رله می‌گذرد و باعث عمل کردن رله می‌شود. در این نوع سیستم به کانال ارتباطی بین دو دروازه احتیاج داریم. یک تفاوت اساسی بین این سیستم و سیستم رلهٔ واحد رله‌های دیستانس وجود دارد؛ در آنجا فقط یک سیگنال قطع[1] فرستاده می‌شد اما در اینجا خود سیگنال جریان یا ولتاژ در کانال ارتباطی سیستم (پایلوت)[2] برقرار می‌شود [۳و۴].



شکل (۱-۶): طرح کلی سیستم حفاظت تفاضلی

- انواع سیستمهای حفاظت تفاضلی:

دو نوع سیستم حفاظت تفاضلی وجود دارد.

۱- سیستم جریان گردش که در مورد المانهای با طول کوتاه در سیستم قدرت به کار برده می‌شود؛ مانند ژنراتورها، ترانسفورماتورها و شینه‌ها که فاصله بین دروازه ورودی و خروجی در آنها طولانی نیست.

۲- ولتاژ متقارن[3] که برای نواحی حفاظتی طولانی مثل خط توزیع به کار برده می‌شود [۴و۵].

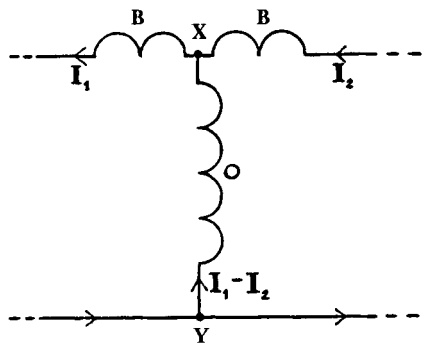
۱-۶- سیستمهای حفاظت جریان گردشی[4]

شمای کل حفاظت جریان گردش به صورت شکل زیر می‌باشد. جریان I_1 توسط

1- tripe
2- pilot

ترانسفورماتور جریان اول ($C.T_1$) و جریان I_2 توسط ترانسفورماتور جریان دوم ($C.T_2$) منتقل می‌شوند. اگر ناحیهٔ حفاظتی، شینه باشد، نسبت تبدیل C.Tها با هم برابر است. ولی اگر ناحیهٔ حفاظتی، ترانسفورماتور باشد، نسبت تبدیل C.Tها ممکن است یکسان نباشد. در هر دو حالت سیستم به گونه‌ای است که به ازای جریان بار یا خطا در خارج از ناحیهٔ حفاظتی، جریانهای I_1 و I_2 با هم برابرند [۴].

PowerEn.ir



شکل (۲-۶): ساختار کاربرد رلهٔ تفاضلی

اگر $I_1 = I_2$ باشد ولتاژ دو سر (V_{xy}) صفر خواهد بود و بنابراین جریانی از آن نمی‌گذرد (شرایط ایده‌آل).

همانطور که در فصل اول گفته شد رله برای شرایط بار و خطای خارج از ناحیه حفاظتی‌اش باید پایدار باشد لذا در رله تفاضلی نیز بدترین شرایطی را که رله باید در آنها پایدار باشد منظور نموده و پارامترها را به گونه‌ای محاسبه می‌کنیم که پایداری حاصل آید. یعنی فرض می‌کنیم که بدترین خطای خارج از ناحیه حفاظتی رخ داده باشد. از آن جهت که بطور طبیعی C.Tها کاملاً با هم مشابه نیستند، ممکن است برای بدترین خطای خارج از ناحیه حفاظتی مسئلهٔ اشباع آنها پیش بیاید. اگر یکی از C.Tها به اشباع برود، جریان آن کاهش می‌یابد. یعنی در حالت سالم بودن هر دو C.T، جریانهای ثانویه با هم برابر هستند لیکن در حالتی که یکی از C.Tها به اشباع رفته است و C.T دیگری نسبت تبدیل خود را حفظ نموده، $I_1 \# I_2$ خواهد بود و چنانچه جریان عبوری از رله، از تنظیم آن بیشتر باشد، رله عمل می‌کند در حالیکه رله نبایستی برای چنین حالتی عمل کند. لذا مشخصات رله باید به گونه‌ای باشد که رله عمل نکند و پایدار بماند.

برای پایدارسازی، دو روش به کار برده می‌شود:

POWEREN.IR

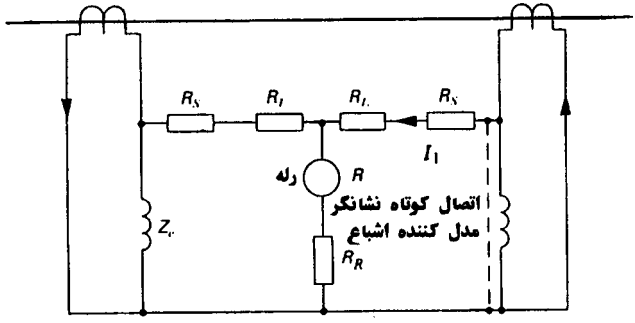
- استفاده از رله‌های امپدانس بالا و مقاومت پایدارساز[1]
- رله‌های بایاس[2]

PowerEn.ir

۱-۱-۶ رله‌های امپدانسی رله تفاضلی امپدانس بالا و یا مقاومت پایدار ساز

وقتی سیستم از یک طرف تغذیه شود افت ولتاژ روی رله بدلیل جریان کم، کم می‌باشد و رله باید با این ولتاژ کم عمل کند.

مدار معادل یک ترانسفورماتور جریان در شکل (۳ـ۶) آورده شده است در ترانسفورماتور جریان (C.T) جدید اندوکتانس نشتی ثانویه تقریباً صفر است [۳و۱].



شکل (۳-۶): مدار معادل ترانسفورماتور و رلهٔ تفاضلی

معادلهٔ (۱ـ۶) ولتاژ دو سر رلهٔ تفاضلی را بر حسب پارامترهای آن بیان می‌کند. این پارامترها به قرار زیر هستند:

R_L : مقاومت سیم پایلوت

Z_m : راکتانس مغناطیس کنندهٔ سیستم

R : مقاومت سیم پیچ رله

R_s : مقاومت خود C.T در ثانویه

R_R : مقاومت پایدار کننده که به طور سری با رله بسته می‌شود.

V: ولتاژ دو سر رله و مقاومت پایدار کننده.

I_s: جریان تنظیم رلهٔ تفاضلی.

همانطور که در قسمت (۱ـ۶) گفته شد، فرض می‌کنیم که یکی از C.Tها به ازاء خطای خارجی در

1- High Impedance Relays, Stabilizing Resistor

2- Bias Relays

اشباع کامل باشد (غیرفعال و اتصال کوتاه باشد)، همچنین، جریانی از راکتانس مغناطیس کنندهٔ C.T فعال نگذرد.

PowerEn.ir

از آنجائی که $R + R_R > R_s + R_L$، مطابق شکل (۴ـ۶) جریان عبوری از رله در مقایسه با جریان عبوری از مسیر اتصال کوتاه شده، خیلی کمتر است. بنابراین جریان ثانویه C.T (I_1) و جریان عبوری از مسیر اتصال کوتاه شده تقریباً برابرند ($I_1 = I/N$). چنانچه I_1 جریان در ثانویهٔ ترانسفورماتور و I جریان در اولیه باشد، ولتاژ دو سر رله و مقاومت پایدار کننده از رابطه (۱ـ۶) بدست می‌آید.

$$V = I_1 \frac{R + R_R}{R + R_R + R_s + R_L} (R_L + R_s) \qquad (۶ـ۱)$$

از آنجا که فرض شده که جریان ناشی از خطای خارج از ناحیه حفاظتی، باعث اشباع رفتن کامل یکی از C.Tها شده، باید مقاومت R به گونه‌ای باشد که به ازای این ولتاژ، جریان عبوری، از جریان تنظیم (I_s) کمتر باشد. این مقاومت (R) در داخل رله قرار دارد و با برداشتن جامپر مربوطه در داخل مدار قرار می‌گیرد.

$$I_r < I_s \qquad (۶ـ۲)$$

در رابطه (۲ـ۶)، I_r جریان عبوری از رله است. بنابراین با توجه به رابطهٔ (۱ـ۶) خواهیم داشت:

$$I_r = \frac{V}{R + R_R} = I_1 \frac{R + R_R}{R + R_R + R_s + R_L} \times \frac{(R_L + R_R)}{R + R_R} \qquad (۶ـ۳)$$

به عبارت دیگر:

$$I_r = I_1 \frac{(R_L + R_s)}{R + R_R + R_S + R_L} \qquad (۶ـ۴)$$

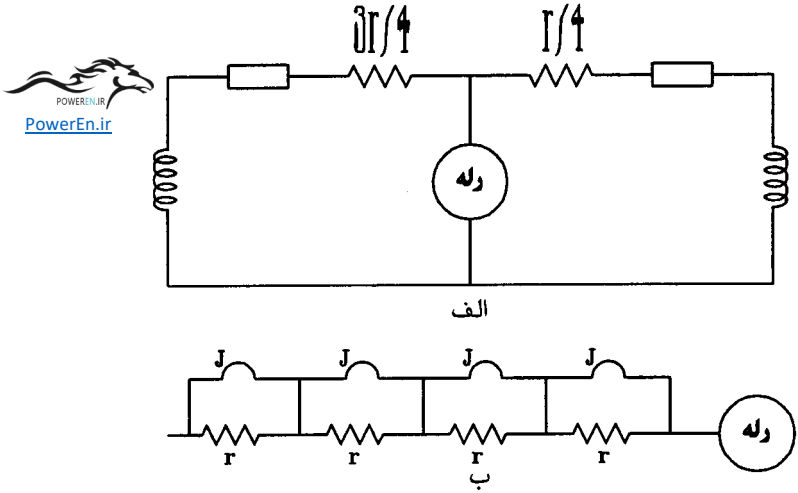
با عنایت به قابل صرفنظر بودن $R_S + R_L$ در مقایسه با $R + R_R$ در مخرج رابطه داریم:

$$I_r = \frac{I_1(R_L + R_s)}{R + R_R} \qquad (۶ـ۵)$$

POWEREN.IR

شکل (۴ـ۶) نحوهٔ کاربرد مقاومت پایدارساز را در رله نشان می‌دهد.

PowerEn.ir



شکل (۴ـ۶): رله با مقاومت پایدارساز
الف ـ نحوه استفاده مقاومت پایدارساز در مدار
ب - مقاومت‌های داخلی رله و جامپرهای موازی آن

این روش دارای مشکلی است و آن این است که ممکن است به ازای خطا در داخل ناحیه، افت ولتاژ روی رله بسیار زیاد شود. این مطلب را با مثال زیر توضیح می‌دهیم.

فرض کنید اطلاعات مربوط به جریان، مقاومت ثانویهٔ ترانسفورماتور جریان، مقاومت سیم‌های پایلوت و جریان تنظیم عبارت باشند از:

$I_1 = ۳۰A$

$R_s = ۳/۲\Omega$

$R_L = ۰/۸\Omega$

$I_. = ۰/۰۲A$

مقدار $R_L + R_s$ برابر ۴ اهم می‌شود بنابراین ولتاژ V برابر است با:

$$V = I_1(R_L+R_s)$$

$$V=۳۰\times۴=۱۲۰V$$

یعنی اگر از مقاومت رله در مقایسه با مقاومت پایدارکننده صرفنظر شود داریم:

$$I_. = \frac{V}{R+R_R} \approx \frac{V}{R}$$

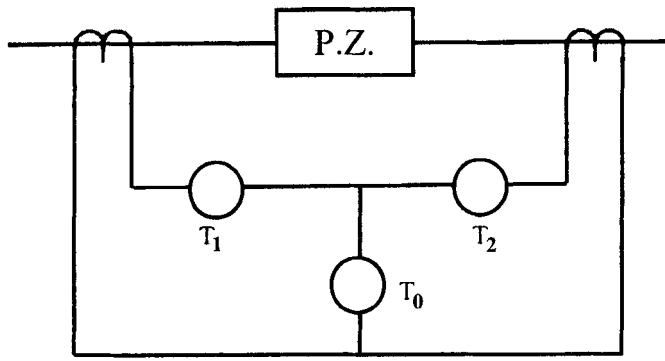
یعنی: $R=\frac{V}{I_.}=\frac{۱۲۰}{۰/۰۲}=۶۰۰۰$ اهم

۲-۱-۶ رله‌های بایاس‌دار:

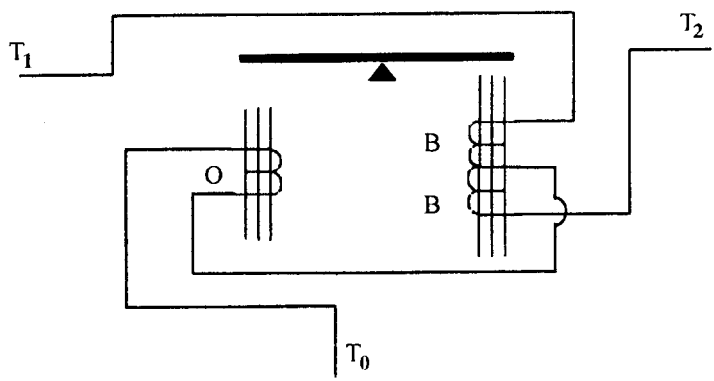
اساس حفاظت تفاضلی بر اختلاف جریان دو طرف استوار است و شدیداً به مطابقت داشتن

C.Tها با هم، بستگی دارد. در شرایط ایده‌آل برای خطاهای خارج از ناحیه حفاظتی و جریان بار باید جریانهای دو طرف رله با هم برابر باشند. اما در عمل این طور نیست و اختلاف جریان (جریان سرریز)[1] وجود دارد. همچنین در بعضی از موارد، استفاده از رله‌های با مقاومت پایدارکننده نیز نمی‌تواند مشکل را بر طرف کند و به دلیل عدم مطابقت داشتن C.Tها با هم، به نیروی باز دارندهٔ بیشتری جهت پایدارسازی احتیاج است. به عنوان مثال، در حفاظت تفاضلی ترانسفورماتورها، به دلیل اینکه نسبت تبدیل C.Tها متفاوت است، احتمال اینکه جریانهای ثانویهٔ آنها دقیقاً با هم برابر نباشد، بسیار زیاد است. در چنین شرایطی از رلهٔ با سیم‌پیچی بایاس استفاده می‌شود. رلهٔ بایاس‌دار دارای سه سیم‌پیچ می‌باشد. سیم پیچها و شکل مداری آن در شکل (۵-۶) رسم شده‌اند [۴و۲].

PowerEn.ir



(الف)

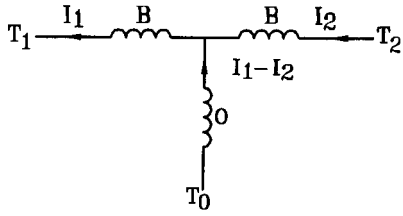


(ب)

1- Spill Current

POWEREN.IR

PowerEn.ir



(ج)

الف - مدار کاربرد رله بایاس ب - ساختمان داخلی رلهٔ بایاس
ج - جریانهای جاری شده در سه سیم‌پیچ
شکل (۵-۶): رله تفاضلی بایاس‌دار

همانطور که در شکل (۵ـ۶) دیده می‌شود در شرایطی که خطا خارجی است جریان I_1-I_2 از سیم‌پیچ عمل‌کننده می‌گذرد و انتظار می‌رود که رله عمل نکند. اما جریان I_1 از یکی از سیم‌پیچهای بازدارنده و I_2 از سیم‌پیچ باز دارنده دیگر می‌گذرد و گشتاور بازدارندگی این دو رله با هم جمع می‌شود. بنابراین در این شرایط نیروی بازدارنده بیش از نیروی عمل کننده می‌شود و رله عمل نمی‌کند. اما اگر خطا در داخل ناحیه باشد، در سیم‌پیچ بایاس اول نیروی بازدارنده متناسب با N_1I_1 (N_1 تعداد دور در سیم‌پیچ سمت راست) و در سیم‌پیچی بایاس دوم نیروی بازدارنده متناسب با N_2I_2 (N_2 تعداد دور سیم‌پیچ سمت چپ) ایجاد می‌شود که این دو نیرو مخالف یکدیگرند و نتیجه آن نیروی بازدارندگی کمی خواهد بود. اما در سیم پیچ عمل کننده، جریانی برابر $I_1 - I_2$ عبور می‌کند که مقدار I_2 منفی است و در نتیجه نیروی عمل کننده بیش از نیروی بازدارنده می‌شود و رله عمل می‌کند. اگر سیستم فقط از یک طرف تغذیه شود، برای خطا در داخل ناحیهٔ حفاظتی، یکی از جریانهای I_1 یا I_2 صفر می‌شود و جریان دیگر از سیم‌پیچهای عمل کننده و بازدارنده عبور می‌کند و باز هم رله عمل می‌کند.

تنظیم رله عبارت است از مینیمم جریانی که در بایاس صفر باعث عملکرد رله می‌شود، بنابراین مقدار آن، درصدی از جریان نامی می‌باشد. جریان تنظیمی (I_0) یک گشتاور تولیدی بوجود می‌آورد که بر اصطکاک و اینرسی غلبه می‌کند.

بایاس رله که با B نشان داده میشود، نسبت تعداد حلقه‌ها در سیم‌پیچ بایاس به تعداد حلقه‌ها در سیم‌پیچ عمل کننده است. مقادیر نمونه‌ای برای ژنراتور عبارتند از: مقادیر تنظیم ۱۰ تا ۲۰٪ و برای مقدار بایاس ۱۰٪ و برای ترانسفورماتور میزان تنظیم ۲۰٪، مقدار بایاس ۲۰ تا ۴۰٪ است. مقدار بزرگتر تنظیم برای ترانسفورماتورهایی با تپ چنجر انتخاب می‌شود. معادله عملکرد برای رله‌های بایاس‌دار به قرار زیر است:

اگر N تعداد حلقه‌ها در سیم‌پیچ عمل کننده، I_1 و I_2 جریان سیم‌پیچی‌های بایاس مطابق جهات نشان داده شده در شکل (۵ـ۶) و I_0 جریان تنظیم و B بایاس باشد داریم [۴]:

آمپر دور عمل کننده $= (I_1 - I_2)N$

$$\text{آمپر دور بایاس} = I_1\frac{B}{2}N + I_2\frac{B}{2}N = (\frac{I_1 + I_2}{2})BN = \frac{I_1 + I_2}{2}BN \qquad (۶-۶)$$

POWEREN.IR
Powered by

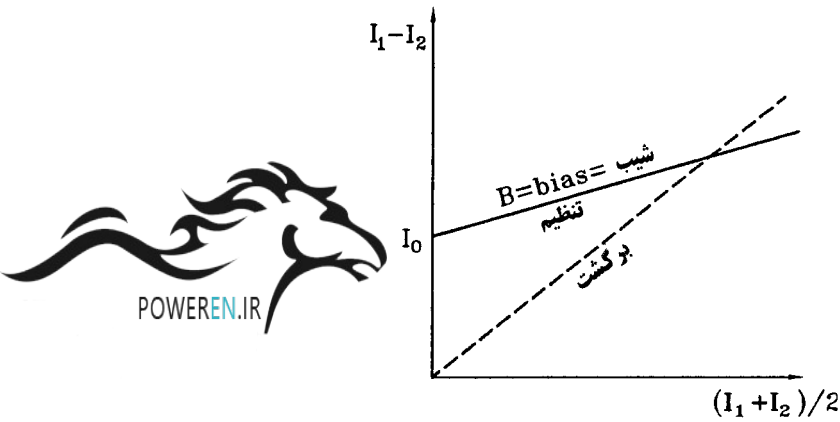
رله وقتی عمل می‌کند که میزان آمپر دور منتج از عمل کننده، از آمپر دور تنظیم بیشتر باشد. پس:

$$|(I_1 - I_2)N| - |(I_1 + I_2)(\frac{BN}{2})| > |I_0N| \qquad (۶-۸)$$

و معادلهٔ تعادل برای عمل به صورت زیر می‌شود:

$$|I_1 - I_2| = |I_0| + |(I_1 + I_2)(\frac{B}{2})|$$

همانطور که دیده می‌شود مقدار جریان عبوری از رله برای عملکرد، فقط به جریان تـنظیم I_0 بستگی ندارد بلکه به میزان بایاس هم ارتباط دارد [۴].



شکل (۶ـ۶): مشخصه رله بایاس‌دار

۲ـ۶ـ اصول حفاظت تفاضلی با موازنه ولتاژ [۴و۱]

چنانچه از حفاظت جریان گردشی، برای حفاظت خطوط استفاده شود جـریانها وارد سـیمهای پایلوت می‌شوند. در این حالت با توجه به طولانی بودن مسیر سیم‌های ارتباطی (پـایلوت)، عـملاً امپدانس بزرگی (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ اهم) دیده می‌شود؛ این امر باعث افت ولتاژ و مصرف[1] زیاد روی ترانسفورماتور جریان خواهد شد. به عنوان نمونه در شرایط معمول روی C.T با مشخصات ۱kVA و ۱ آمپر، ۱kV افت ولتاژ خواهیم داشت که چنین مقداری در یک شبکه ممکن نیست.

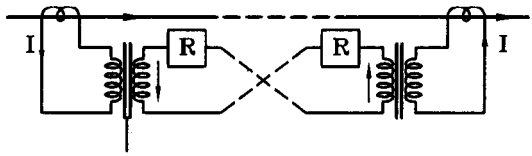
به عبارت دیگر، اگر چنین سیستمی به فیدرهایی (خطوطی) با طولهای چندین کیلومتر متصل

1- Burden

شود به نیروی الکتروموتوری (EMF)[1] زیادی نیاز است تا بتواند جریان گردش حدود ۵ یا ۱۰ آمپر در بار کامل، یا چندین برابر جریان نامی در خطاهای خارجی در حلقهٔ پایلوت بوجود آورد. نتیجه این امر میزان مصرف خیلی زیاد C.T خواهد بود که برای طرحهای C.T معمولی غیر عملی می‌باشد.

PowerEn.ir

لذا به منظور حل این مشکل، یکی از C.Tها را به صورت عکس، مطابق شکل (۷ـ۶) می‌بندیم؛ در این حالت با بروز یک خطای خارجی، دو نیروی الکتروموتوری (emf) در ثانویه C.Tها در جهت مخالف یکدیگر بوده و جریان عبوری از دو رله صفر خواهد بود. به عبارت دیگر از سیستم تعادل و نامتعادلی ولتاژ استفاده می‌کنیم [۴].



شکل (۷ـ۶) سیستم حفاظتی تعادل ولتاژ

این سیستم در شرایط بار و ایجاد خطاهای خارجی، باعث اشباع C.Tها می‌شود بدین ترتیب هر دو C.T وارد ناحیه کار غیر خطی خود می‌شوند. بنابراین این سیستم نمی‌تواند مورد استفاده باشد.

روش دیگری که در اینجا پیشنهاد می‌شود استفاده از C.Tهای خاص است. اگر بتوانیم از C.Tهایی استفاده کنیم که به اشباع نروند و در گسترهٔ خطی خود باقی بمانند و در عملکرد رله‌ها اشکال ایجاد نکنند مناسب خواهد بود. بنابراین ما احتیاج به C.Tهایی خاص داریم. C.Tهایی که در هستهٔ آنها فاصله هوایی وجود دارد برای این منظور پیشنهاد می‌شوند. این فاصلهٔ هوایی باعث می‌شود که منحنی مشخصهٔ مغناطیس‌شدگی هسته خطی نباشد و مانع به اشباع رفتن ترانسفورماتور جریان گردد (شکل ۸ـ۶).

در ساخت این C.Tها باید دقت زیادی صورت پذیرد و از آنجا که مشابه بودن دو C.T بسیار اهمیت دارد باید در ساخت فواصل هوایی یکنواخت، دقت شود.

برای کاهش تعداد سیم‌های پایلوت و کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت اعتماد در سیستم و استفاده نکردن از C.Tهای خاص، مطابق شکل (۹ـ۶) از ترانسفورمرهای جمع کننده استفاده می‌کنیم. با این روش علاوه بر استفاده از C.Tهایی معمولی، سیم‌های ارتباطی را نیز به دو رشته تقلیل داده‌ایم.

POWEREN.IR

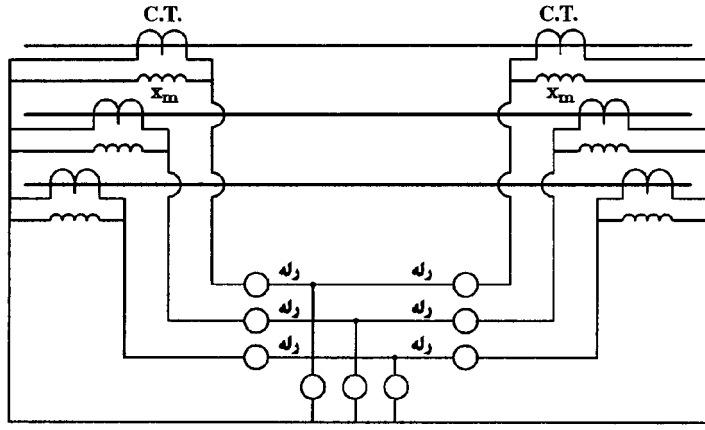
1- Electromagnetic Force

سیستم‌های حفاظتی جدید (مدرن) را اغلب در ترانسفورماتور مجموع (ST)[1] استفاده می‌کنند که دارای امتیازات زیر هستند [۶و۴]:

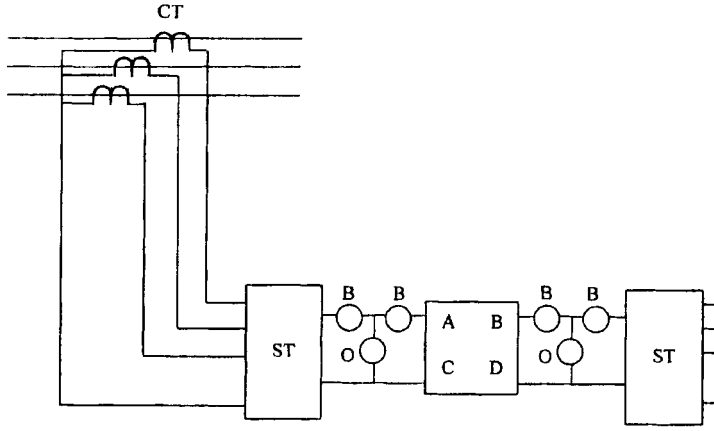
POWEREN.IR
PowerEn.ir

الف – C.Tهای خطی در مدارها، دارای طرح معمولی با مصرف کم هستند.

ب – خروجی ترانسفورماتور جمع کننده، به یک سیستم پایلوت دو سیمه وصل شده و این خروجی برای تشخیص هر نوع خطا در طرف اولیه خطوط مناسب است.



شکل (۸-۶): مدار کاربرد ترانسفورماتور جریان از نوع ترانسفورماتور با فواصل هوایی یکنواخت



شکل (۹ـ۶): ترانسفورماتور مجموع در حفاظت با موازنهٔ ولتاژ

ساختمان یک ترانسفورماتور مجموع خیلی شبیه یک C.T است. به جز اینکه اولیه آن دارای پله‌هایی بوده و می‌تواند در ثانویه با یک ثانویه باز عمل کند.

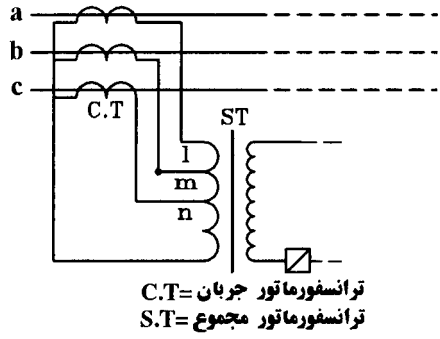
1- Summation Transformer (ST)

ترانسفورماتور مجموع به گونه‌ای طراحی شده است که حتی با ثانویه باز، مصرف بسیار کمی روی C.T تحمیل می‌شود بنابراین می‌توان آن را همانند C.T معمولی طراحی کرد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

اگر l و m و n تعداد حلقه‌ها در سه قسمت اولیه ترانسفورماتور مجموع باشند، یک خطای زمین در فاز a، جریان ثانویه‌ای تولید خواهد کرد که متناسب با (m + n + l) دور است. در حالی که یک خطای فاز به فاز (b و c) فقط جریان گردشی در سیم‌پیچ‌های m تولید خواهد کرد. برای یک خطای داخلی روی یک سیستم تغذیه شده از یک طرف، V_A خروجی ثانویه ترانسفوماتور مجموع و آمپر دور ورودی به ترانسفورماتور مجموع، ملاک عملکرد رله خواهد بود. جریان مغناطیس کنندهٔ مربوطه، و جریان‌های افت اهمی بایستی به جریان عملکرد اضافه شود. بنابراین با فرض اینکه جریان تنظیم برای یک نوع خطا داده شده باشد، این جریان با تعداد حلقه‌ها نسبت عکس دارد. البته منظور تعداد حلقه‌هایی از ترانسفورماتور مجموع است که برای آن خطا فعال هستند. اگر تنظیم یک نوع خطا و مقدار l و m و n داده شده باشند، تنظیم خطای دیگر می‌تواند به راحتی محاسبه شود. این وابستگی تنظیم‌های خطاهای مختلف، از معایب سیستم ترانسفورماتور مجموع است. تنظیم جریان خطای زمین می‌تواند کمتر از خطای فازی باشد. از آنجائی که سیستم حفاظتی از نوع واحد و مقایسه جریانها می‌باشد، لزومی ندارد که تنظیم‌های خطای فاز به فاز، بزرگتر از جریان بار ماکزیمم باشد.

در عمل معمول است که $l = m$ و نسبت تعداد حلقه‌های l و m و n به صورت n: ۱: ۱ نشان داده شوند.



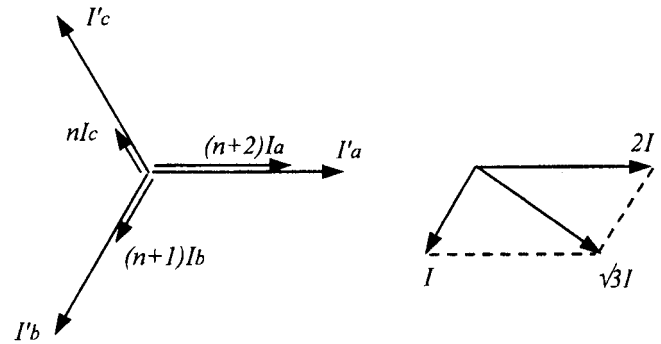
شکل (۱۰-۶): ساختمان داخلی ترانسفورماتور جمع کنندهٔ جریان

یک سیستم سه فاز متعادل را در نظر بگیرید:

برای تشریح چگونگی عملکرد ترانسفورماتور مجموع، I'_a، I'_b، I'_c جریانهای سه فاز در خط می‌باشند؛ بنابراین در شرایط بار سیستم، $\sqrt{۳}I$ جریانی است که از رله می‌گذرد.

$$I_{total}=(n+۲)I_L+(n+۱)I_L\angle-۱۲۰+(n)I_L\angle۱۲۰^\circ=\sqrt{۳}I_L\angle-۳۰^\circ \quad (۶-۹)$$

POWEREN.IR
PowerEn.ir



شکل (۱۱-۶): نمودار برداری جریانهای خطوط و جریان خروجی جمع کننده

اگر در سیستم سه فاز متقارنی که جریان بار از آن می‌گذرد، خطایی در یکی از فازها با یک مقاومت بزرگ ایجاد شود و جریان دو فاز دیگر بدون تغییر در نظر گرفته شود، با محاسبهٔ جریان ثانویهٔ ترانسفورماتور جمع کننده برای هر یک از فازها می‌بینیم که حساسیت‌های متفاوتی به دست می‌آید. برای مثال رله برای خطای فاز b، جریان $I_f(n+1)$ و برای خطای فاز C، جریان nI_f را خواهد دید.

ذیلاً مثالهایی از خطاهای مختلف آورده می‌شود:

با فرض اینکه در شکل (۱۰-۶)، S به عنوان نقطهٔ ستاره باشد، و با فرض اینکه $n = ۴$ و تنظیم برای یک خطای زمین روی فاز a نیز ۴۰٪ (برحسب جریان نامی رله) باشد، می‌توان نشان داد تنظیم برای یک خطای زمین، در فاز c برابر ۶۰٪ و خطای فاز به فاز a و c برابر ۱۲٪ و برای خطای سه فاز، برابر ۱۳۰٪ خواهد بود.

بنابراین برای یک تنظیم خاص رله، ممکن است به دلیل تفاوت حساسیتها بعضی از خطاهای سیستم سه فاز دیده نشود. به خاطر محدودیتهایی که در این سیستم حفاظتی وجود دارد، به خصوص محدودیتهای سیم پایلوت، نمی‌توان از آن در شبکه‌های بالای ۲۵kV استفاده کرد.

۳-۶- سیستم‌های حفاظتی موازنه ولتاژ با توجه به اثر سیم پایلوت

طرح حفاظتی سیم پایلوت تعادل ولتاژ در شکل (۱۲-۶) نشان داده شده است. زمانی این سیستم عمل می‌کند که آمپر دور مؤثر سیم‌بندی عمل‌کننده بزرگتر از آمپردور مؤثر سیم‌بندی بازدارنده باشد. از امپدانس مدار عمل‌کننده صرف‌نظر شده و آستانه یا مرز عملکرد برای رلهٔ دریافت کننده‌ای که در انتهای مدارحفاظت شده قرار دارد از رابطه زیر بدست خواهد آمد [۵]:

$$K_۱.I_R > K_۲.V_R.Y_r \qquad (۶-۱۰)$$

که در آن Y_r ادمیتانس مدار بازدارنده می‌باشد. و فرض شده است که رابطه $\frac{I}{V}$ خطی بوده و

تغییرات I_R متناسب با تغییرات V_R باشد. همچنین داریم:

$$I_R = V_R \cdot Y_{PR} \qquad (۶-۱۱)$$

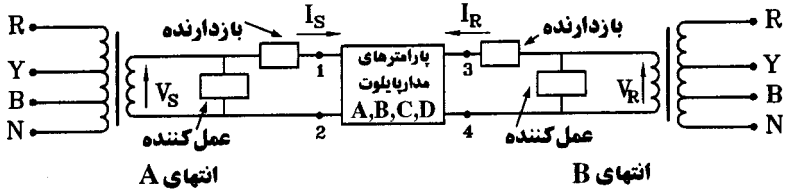
POWEREN.IR
PowerEn.ir

که در آن Y_{PR} ادمیتانس مدار پایلوت می‌باشد. در نتیجه:

$$K_۱.V_R.Y_{PR} > K_۲.V_R.Y_r \qquad (۶-۱۲)$$

$$Y_{PR} > KYr \qquad K = \frac{K_۲}{K_۱} \qquad (۶-۱۳)$$

خروجی مدارهای عمل کننده و بازدارنده وارد یک مقایسه‌کننده دامنه دو ورودی می‌شوند و اگر ادمیتانس مدار پایلوت از مقدار $K|Y_r|$ تجاوز کرد، رله فرمان قطع را صادر می‌کند. تاخیر عملکرد در شکل (۶-۱۳) نشان داده شده است.



شکل (۶-۱۲): اساس تعادل ولتاژ با نمایش پارامترهای سیمهای پایلوت

معیار منحنی طرح تعادل ولتاژ عمل باید به صورتی باشد که مرکز دایرهٔ پایداری روی نقطهٔ $۱\angle ۰$ از صفحهٔ $\frac{V_s}{V_R}\angle\varphi$ قرار گیرد. در پایلوت‌های عملی، منحنی مشخصه را از صفحهٔ ادمیتانس به صفحهٔ $\frac{I_R}{I_B}\angle\varphi$ منتقل می‌کنند که این کار باعث به وجود آمدن یک ادمیتانس صفر درحالت $\frac{V_R}{V_S}=۱\angle ۰$ می‌شود.

تا پیش از این از خاصیت سلفی و خازنی سیم پایلوت صرفنظر شد. و این به دلیل کوتاه بودن حوزه حفاظتی بود. اما در خطوط بلند، به علت افزایش خاصیت سلفی و خازنی سیم پایلوت، صرفنظر کردن از آنها مشکلاتی را پدید می‌آورد. برای برطرف کردن این مشکلات از طرح حفاظت تعادل ولتاژ با جبرانگر موازی که از مقایسه‌کننده دامنه دو ورودی بین دامنه‌های عمل کننده و بازدارنده تشکیل شده استفاده می‌شود. این طرح در شکل (۶-۱۴) نشان داده شده است [۵].

OP = سیم‌بندی عمل کننده

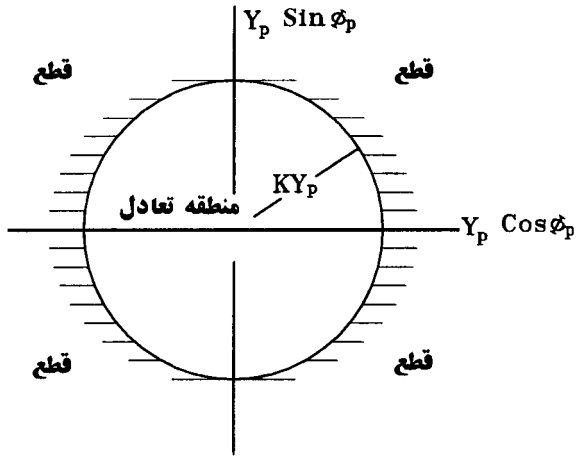
RES = سیم‌بندی بازدارنده

COMP = جبران‌کننده

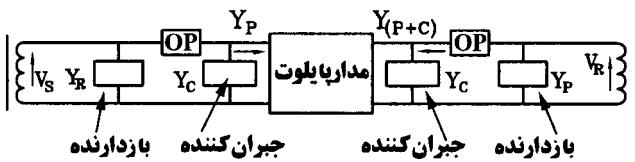
مدار باید طوری تنظیم شده باشد که مدار پایلوت جبران شده $Y_{(p+c)}$ ادمیتانس صفر را برای رله در حالت $\frac{V_R}{V_S}=۱\angle ۰ = ۰\angle ۰$ نشان دهد. برای تحلیل و بررسی ادمیتانس جبران Y_c باید سیستم مدار پایلوت به صورت متقارن در نظر گرفته شود و ادمیتانس Y_c به صورت فرض شده در دو

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۱۳ـ۶) مکان هندسی برای مقایسه‌کننده دامنه



شکل (۱۴ـ۶): طرح حفاظتی سیستم پایلوت جبران شده

انتهای مدار پایلوت قرار گرفته باشد. انجام این کار برای مدارهای پایلوت غیرمتقارن کار بسیارمشکلی می‌باشد. اگر پارامترهای مدار پایلوت به صورت ثابت‌های A، B، C و D نشان داده شود و پارامترهای مدار پایلوت جبران شده را با ثابت‌های، A′، B′، C′ و D′ در نظر بگیریم و در صورتیکه از امپدانس سری مدارهای عمل کننده صرف‌نظر شده باشد و با فرض اینکه ادمیتانس جبران Y_c در دو انتها وجود داشته باشد، معادلات مدار پایلوت را می‌توانیم به صورت ماتریسی به صورت زیر نشان دهیم:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ۱ & ۰ \\ Y_c & ۱ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ۱ & ۰ \\ Y_c & ۱ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \qquad (۱۴ـ۶)$$

POWEREN.IR

حال اگر معادلات نوشته شود و با ثابت‌های مدار پایلوت جبران شده تطبیق داده شود داریم:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ Y_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \qquad (۶-۱۵)$$

PowerEn.ir

$$A' = A + BY_c$$

$$B' = B \qquad (۶-۱۶)$$

$$C' = AY_c + C + Y_c\,(BY_c + D)$$

$$D' = BY_c + D$$

ادمیتانس $Y'_{(P+C)}$ که مربوط به رله دریافت کننده است از معادلهٔ (۶ـ۱۲) بدست خواهد آمد.

$$V_s = A'.V_R + B'.I_R \qquad (۶-۱۷)$$

$$V_s = K.V_R \angle \sigma,\ R'(p+c) = -I_R/V_R \Rightarrow K \angle \sigma = A' - B'Y'_{(P+C)} \qquad (۶-۱۸)$$

توجه شود که علامت منفی ادمیتانس $y'_{(P+C)}$ نشان دهندهٔ رله دریافت کننده می‌باشد. این امپدانس $k' = A'+B'Y'_{(P+C)}$ توسط رله دریافت کننده دیده می‌شود.

اگر معادلهٔ (۶ـ۱۸) را بر B' تقسیم کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{K \angle\sigma}{B} = \frac{A'}{B'} + \frac{B'.Y'_{(P+C)}}{B'} \Rightarrow Y'_{(P+C)} = \frac{A'}{B'} - \frac{K \angle\sigma}{B'} \qquad (۶-۱۹)$$

با جایگزینی مقادیر A' و B' از معادله (۶ـ۱۵) در معادله (۶ـ۱۹) داریم:

$$Y'_{(P+C)} = \frac{(A+ BY_c)}{B} - \frac{K \angle\sigma}{B} \qquad (۶-۲۰)$$

$$Y'_{(P+C)} = \frac{A}{B} - \frac{K \angle\sigma}{B} + Y_c \qquad (۶-۲۱)$$

اگر عمل جبران به صورت کامل وجود داشته باشد و $K\angle\sigma = ۱\angle\sigma$ باشد، ادمیتانس جدید $Y'(P+C)$ برای رلهٔ دریافت کننده، صفر خواهد شد.

از معادله (۶ـ۱۸) به نظر می‌رسدکه در این حالت، A' مقدار جدید $۱\angle\sigma$ را خواهد داشت و $A + BY_c = ۱\angle\sigma$ خواهد شد و ادمیتانس جبران Y_c لازم توسط معادلهٔ زیر بدست خواهد آمد:

$$Y_c = \frac{1-A}{B} \qquad (۶-۲۲)$$

در انتقال صفحهٔ نمایش ادمیتانس به صفحهٔ $\frac{V_s}{V_R}\angle\sigma$ یا $\frac{I_A}{I_B}\angle\sigma$، وقتی که $\frac{V_s}{V_R}\angle\sigma=۰$، لازم است مشخص شود که ادمیتانس $Y'_{(P+C)}$ مربوط به رلهٔ دریافت‌کننده می‌باشد.

از معادلهٔ (۶ـ۱۸) داریم:

$$\frac{V_s}{V_R}\angle\sigma = K \angle\sigma = ۰ \qquad (۶-۲۳)$$

و

$$\frac{V_s}{V_R}\angle\sigma = A' + B'.Y'_{(P+C)}$$

$A' = A + B.Y_c$ و $0 = A' + B'.Y'_{(P+C)}$

به جای A' از معادله بالا قرار می‌دهیم پس: $Y'_{(P+C)} = \frac{A'}{B'} = \frac{A + B.Y_c}{B}$

حال با قرار دادن مقدار Y_c از معادلهٔ (۱۹ـ۶) رابطهٔ $Y'(P+C)$ وقتی که $\frac{V_s}{V_R} = ۰$ باشد بدست خواهد آمد:

PowerEn.ir

$$Y_{(P+C)} = \frac{A}{B} - \frac{K\angle\sigma}{B} + Y_c \qquad k\angle\sigma = ۰$$

$$Y_c = \frac{۱-A}{B}$$

$$\Rightarrow Y_{(P+C)} = \frac{A}{B} + \frac{(۱-A)}{B} = \frac{۱}{B} \qquad (۶ـ۲۴)$$

نمودار ادمیتانس جبران شده ممکن است روی صفحهٔ $\frac{V_S}{V_R}\angle\sigma$ یا $\frac{I_A}{I_B}\angle\phi$ نشان داده شود.

در شکل (الف‌ـ۱۵ـ۶) مبدأ نمودار باید در نقطه‌ای باشدکه مقدار ادمیتانس در این نقطه برابر $\frac{۱}{B}$ شود. درجه‌بندی به صورت ضربی از $\frac{۱}{B}$ می‌باشد.

حال اگر به طور ایده‌آل شعاع دایره روی صفحه $\frac{V_s}{V_R}\angle\sigma$ برابر با ۰/۵ باشد، مقدار شعاع‌ها در صفحهٔ ادمیتانس برابر با $\frac{۱}{۲B}$ خواهد شد.

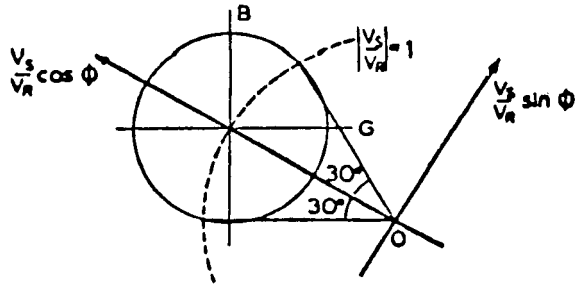
از طرفی هر دایره در صفحه $\frac{V_S}{V_R}\angle\sigma$ یک حاشیهٔ ثبات قرینه درحدود $۳۰° \pm$ را به دست می‌دهد.

همانطور که در شکل (الف‌ـ۱۵ـ۶) ملاحظه می‌شود چنین به نظر می‌رسد که رابطهٔ $Y'_{(P+C)}$ داده شده در معادلهٔ (۱۸ـ۶) همیشه قابل اجرا است.

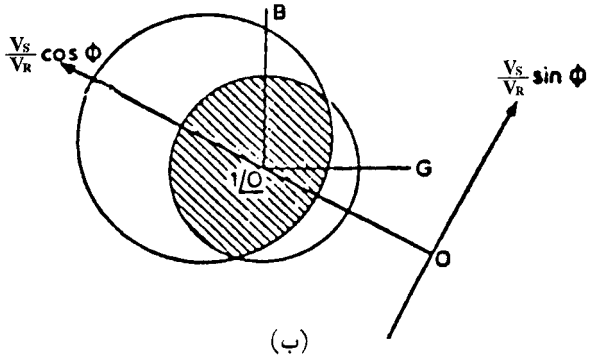
اگر پایلوت را متقارن فرض کنیم، مشخصه رله ارسال کننده با عکس کردن مشخصه رله دریافت‌کننده بدست خواهد آمد، و شکل (ب‌ـ۱۵ـ۶) نشان‌دهندهٔ منحنی مشخصهٔ رلهٔ دریافت‌کننده و رله ارسال کننده روی صفحهٔ مختلط $\frac{V_s}{V_R}\angle\phi$ است. ناحیه پایداری به صورت هاشورخورده نشان داده شده است.

POWEREN.IR

PowerEn.ir



(الف)



(ب)

شکل(۱۵-۶): نمودار ادمیتانس و منحنی مشخصه رله دریافت کننده وارسال کننده
الف) نمودار ادمیتانس جبران شده روی صفحهٔ $\frac{V_S}{V_R}\angle\sigma$
ب) منحنی مشخصه رله دریافت کننده و رله ارسال کننده

۴-۶- روشهای انتقال اطلاعات در حفاظت تفاضلی

حفاظت در سیستم‌های قدرت باید به گونه‌ای باشد که نواحی حفاظتی به صورت روی هم[1] بوده و حفاظت به صورت واحد نباشد، تا تمام سیستم قدرت تحت حفاظت قرار گیرد و هیچ بخشی از آن بدون حفاظت نماند. اگر خطایی در سیستم قدرت رخ داد باید فقط رله‌هایی که آن ناحیه را می‌پوشانند عمل کنند تا هیچ قسمتی از سیستم قدرت بدون جهت قطع نگردد. اگر خطایی در یک ناحیه اتفاق بیفتد و فقط رله‌های مربوطه به آن ناحیه عمل کنند، به این نوع حفاظت، حفاظت مطلق انتخاب شده[2] گویند، یعنی هر رله در ناحیه حفاظتی خودش عمل می‌کند. سیستم حفاظتی انتخاب شده همان حفاظت واحد است، که یک نمونه از طرحهای حفاظت تفاضلی واحد با استفاده از سیم‌های پایلوت می‌باشد.

طرحهای حفاظت تفاضلی با استفاده از سیم‌های پایلوت دارای محدودیتهایی در طول می‌باشند که حداکثر آن در حدود ۲۵ کیلومتر (۱۵ مایل) است؛ این سیم‌های پایلوت یا به صورت کابلهای مخصوصی که

1- Overlap
2- Selective

در زیر زمین دفن شده‌اند و یا به صورت خط‌های تلفن شرکت مخابرات استفاده می‌شوند. حفاظت تفاضلی برای خطوط انتقال انرژی همانند حفاظت تفاضلی استفاده شده برای ژنراتور یا ترانسفورماتور است. یعنی با قرار دادن وسایل اندازه‌گیری در ابتدا و انتهای خط انتقال، از ولتاژ یا جریان، نمونه برداری می‌شود. سپس این مقادیر مقایسه می‌شوند. این مقایسه در بعضی موارد مقایسه دامنه و در برخی حالات اختلاف فاز است. در نتیجه برای یک خط انتقال سه فازه بایستی برای هر فاز یک سیم پایلوت قرار داد. ولی برای جلوگیری از این کار و جهت تأمین اهداف اقتصادی، توسط ابزاری در ابتدا و انتهای خط انتقال، نمونه‌هایی را که ولتاژ و جریان سه فازه می‌شود به سیستم تک فاز تبدیل می‌کنند و طرح مقایسه دامنه و یا فاز، روی این مقادیر تک فازه انجام می‌شود. معمولاً مقایسه دامنه برای طول‌های کم (خط‌های کوتاه) و مقایسه اختلاف فاز برای طول‌های زیاد (خط‌های طولانی) انجام می‌گیرد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

روش‌های دیگری که برای حفاظت تفاضلی خط انتقال به کار برده می‌شوند بدین صورت است که برای انتقال اطلاعات بین ابتدا و انتهای خط از هادیهای خطوط انتقال استفاده می‌شود. یعنی خطوط انتقال در این حالت علاوه بر انتقال نیرو انتقال اطلاعات بین ابتدا و انتهای خط را نیز به عهده دارند، که به این سیستم pLc[1] گویند. در این حالت اطلاعات گرفته شده از ابتدا و انتهای خط، به سیگنال با فرکانس بالا تبدیل شده که این سیگنال‌ها می‌توانند روی سیم‌های انتقال به فواصل دور انتقال داده شوند.

AND (&) :	مدار ضرب
COMP :	مقایسه گر
C.T :	ترانس جریان
F.D :	آشکارساز خطا
S.D :	عضو جمع کننده
T/R :	دریافت کننده/انتقال دهندهٔ سیگنالهای متناسب با فرکانس قدرت سیگنالهای فرمان قطع

اگر چه وسایل و تجهیزات به کار رفته در این روش‌ها با یکدیگر متفاوتند ولی هر کدام از طرح‌ها مقدار زیادی با یکدیگر وجه اشتراک دارند. اشتراک اصلی آنها در سیستم‌های مقایسه کننده آنهاست؛ یعنی در هر دو سیستم، نمونه گرفته شده از دو انتها با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

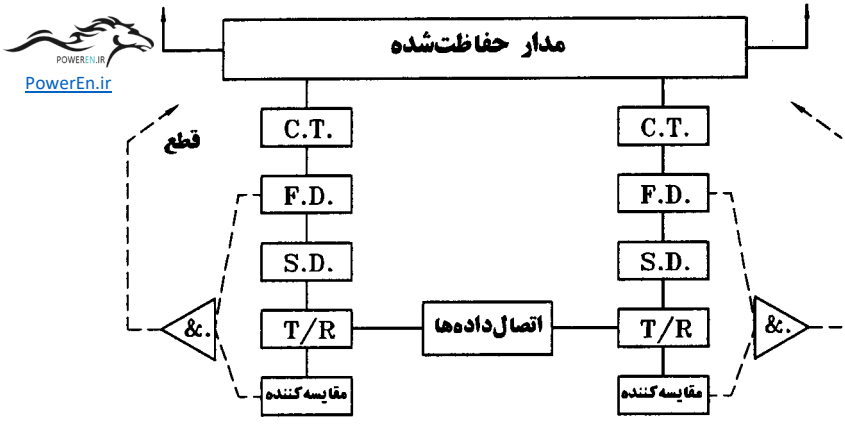
روش دیگر استفاده از لینکهای رادیویی می‌باشد. در این روش از کانال امواج رادیویی با فرکانس بالا برای انتقال اطلاعات بین ابتدا و انتهای خط استفاده می‌شود که یک روش بسیار جالب در حفاظت خطوط انتقال است.

POWEREN.IR

اساس و مبنای روش‌های گفته شده برای حفاظت تفاضلی فیدر در شکل (۱۶-۶) نشان داده شده است.

1- Power Line Carier

PowerEn.ir



شکل (۶-۱۶): اساس سیستم حفاظت تفاضلی با استفاده از سیستم PLC

۶-۵ منحنی مشخصهٔ ایده‌آل طرحهای حفاظت تفاضلی توسط سیم پایلوت

در شکلهای (۶-۱۷) و (۶-۱۸) دو نمونه از منحنی مشخصه‌های طرح‌های حفاظت تفاضلی نشان داده شده است که بر حسب نسبت مؤثر خروجیها، از وسایل و ابزار جمع کننده در دو انتهای خط حفاظت شده در دو سوی محور قائم، جدا شده‌اند. همانطور که از روی شکل پیداست منحنی مشخصه دایره‌ای شکل از مقایسه فاز و دامنه به دست می‌آید، در صورتیکه اگر فقط دامنه‌ها مقایسه شوند، یک خط راست به دست خواهد آمد[۵].

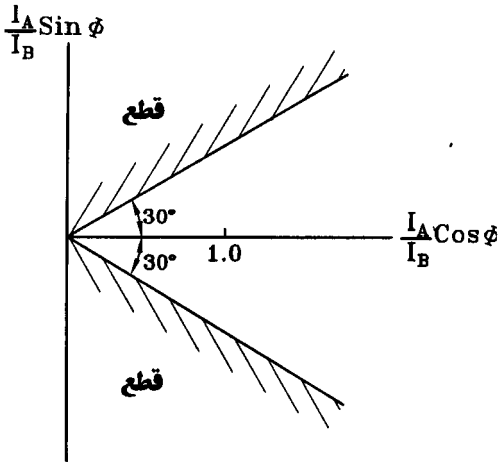
سیستم حفاظت تفاضلی با سیستم پایلوت می‌تواند دارای هر دو منحنی باشد. ولی سیستم‌های جریان انتقال فقط می‌توانند یک مقایسه فاز کوچک را نشان دهند. ناحیه مکان به طور ایده آل برای طرح حفاظت تفاضلی باید نقطه ۰ > ۱ از صفحه مختلط $f<\frac{I_A}{I_B}$ را در برداشته باشد.

۶-۶ حفاظت تفاضلی خطوط چند پایانه

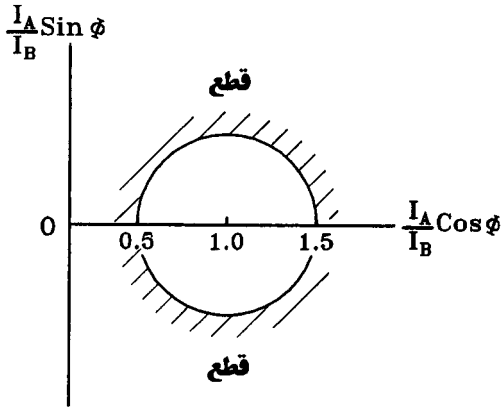
حفاظت تفاضلی با استفاده از سیمهای پایلوت، در اشکال مختلف مدارهای دارای چندین پایانه قابل استفاده است. البته طراحی این نوع حفاظت برای مدارهای چند پایانه به مراتب مشکلتر از مدارهای دو پایانه‌ای است. هم سیستمهای تعادل جریان و هم سیستمهای تعادل ولتاژ را می‌توان جهت اینگونه مدارها به کار برد ولی مشخصهٔ مناسب، زمانی به دست می‌آید که تعادل در تمام شاخه‌ها برقرار باشد که معمولاً مقدار جریان یا ولتاژ بلندترین خط مبنا می‌باشد.

در یک خطای خارج از مدار حفاظتی، جریان خطا جاری می‌شود که این جریان دلیلی ندارد که از پایانه‌های دیگر نیز بگذرد، به همین خاطر رله‌ای که توسط جریان خطا تغذیه نمی‌شود باعث تولید سیگنالهای از بین برندهٔ تعادل در مدار پایلوت می‌شود و در نتیجه یک قطع ناخواسته پیش می‌آید.

PowerEn.ir



شکل (۱۷-۶): مقایسه فاز



شکل (۱۸-۶): مقایسه فاز و دامنه

در بعضی از طرحهای حفاظتی، با به کارگیری یک مدار پایلوت اضافی که سیگنالهای گرفته شده از جریان خطا در هر یک از ترمینالها را با هم جمع می‌کند، مقدار گشتاور مقاوم لازم را برای اینکه رله‌ها تحت خطای خارجی عمل نکنند، ایجاد می‌کند.

مسائل:

۱ - یک ترانسفورماتور مجموع دارای ترمینالهای اولیه P_1 ,P_2 ,P_3 و P_4 است. تعداد حلقه‌های بین ترمینالهای P_1-P_2 و P_2-P_3 و P_3-P_4 به ترتیب ۴ و ۴ و ۸ است و تعداد حلقه‌های ثانویه ۱۰

می‌باشد. یک خط سه فازه با فازهای R و Y و B که روی آنها سه ترانسفورماتور جریان با نـقطهٔ ستاره، $\frac{۴۰۰}{۵}$ آمپر و $P_۱$ و $P_۲$ و $P_۳$، بترتیب به C.Tهای R و Y و B وصل شده‌اند و $P_۴$ نیز به نقطهٔ ستارهٔ آنها، وجود دارد. اگر جریانها در فازهای R و Y و B که از تغذیه می‌آید بترتیب برابر ۱۰۰۰∠۱۰۰° و ۹۰۰∠۲۳۰° آمپر بوده و ترانسفورماتور مجموع، اتصال کوتاه شده باشد جریان در مدار اتصال کوتاه چقدر است.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

۲ – اگر دو ست ترانسفورماتورهای مجموع از نوع ترانسفورماتورهای داده شده در مسئلهٔ ۱ باشد و تنظیم برای یک خطای زمین (دو فاز B) داخلی ۶۰ درصد، ۵ آمپر باشد، تنظیم‌ها را برای خطاها روی فازهای R و Y و برای خطاهای دو فاز R-Y، Y-B، B-R و برای خطای سه فاز محاسبه کنید.

(۶۰ و ۱۲۰ و ۱۲۰ و ۴۰ و ۳۰)

۳ – در یک مدار پایلوت مورد استفاده در حفاظت تفاضلی، از امپدانس جبران سازی Y_c در طرف مدار پایلوت استفاده شده است. اولاً: عبارتی برحسب Y_c بدست بیاورید که شامل ثابتهای شبکهٔ چهار ترمیناله باشد و نسبت ولتاژهای ارسالی و دریافتی را با زوایهٔ آن بیان کند. ثانیاً: اگر مدار پایلوت فوق بصورت یک شبکهٔ T متقارن درآید که هر بازوی سری آن دارای مقاومت $۵۰۰j\Omega$ و بازوی شنت آن $j۱۰^{-۶}V$ باشد، مقدار Y_c باید چه اندازه باشد تا تضمین کند که ادمیتانس صفر در رله، در طرف دریافتی زمانی ظاهر شود که $\frac{V_s}{V_R} = ۱$ باشد. ثالثاً: روی طبیعت Y_c بحث کنید. رابعاً: نشان دهید که چگونه صفحهٔ مختلط $\frac{V_s}{V_R} \angle \sigma$ می‌تواند بر دیاگرام ادمیتانس جبران شده منطبق گردد.

.POWEREN.IR

مراجع:

PowerEn.ir

1.Electricity Council, "Power system protection", London: Macdonald, vol.2, 1982.

2.Electricity Council, "Power system protection", London: Macdonald, vol.3, 1982.

3.GEC Measurment, "Protective Relay Application Guide", The General Electric Company, of England, 1995.

4.A.E. Guile, Paterson, "Electrical Power Systems", Edinburgh: Oliver & Boyd, vol.1, 1972.

5.D.Jones, "Analysis and Protection of Electrical Power System", Wheeler Publishing, 1979.

6.Tutorial of IEE on "Application of Distribution System Protection", Industrial Conference on Advances in Power System Control, Operation & Measurement (APSCOM-91), IEE Conference, HongKong, 1991.

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

PowerEn.ir

فصل ۷

حفاظت ژنراتورها، ترانسفورماتورها و شینه‌ها

مقدمه

ترانسفورماتور و ژنراتورها از مهمترین اجزاء یک سیستم قدرت بشمار می‌روند زیرا ژنراتورها تولید کنندهٔ انرژی و ترانسفورماتورها حلقه ارتباطی میان بخشهای مختلف سیستم با سطوح متفاوت ولتاژ هستند. در نظر گرفتن دامنه وسیعی از مشخصه‌ها و جنبه‌های ویژهٔ کار ژنراتور و ترانسفورماتور سبب پیچیده‌تر شدن مسئله حفاظت در شبکه‌ها می‌شود. ولی پیش از پرداختن بیشتر به مقوله حفاظت، بررسی رفتار ژنراتور و ترانسفورماتورها و شرایط مختلف حاکم بر آنها و اثری که بر هماهنگی رله‌ها می‌گذارند الزامی است[۱].

ارتباط میان ژنراتور با ترانسفورماتور و مقوله حفاظت از دو جنبه مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکی در نظر گرفتن این تجهیزات به عنوان یکی از اجزاء سیستم قدرت که بایستی در برابر آسیبهای احتمالی ناشی از خطا حفاظت شوند و دیگری اثری که ترانسفورماتور بعنوان یک حلقه ارتباطی در یک شبکه بهم پیوسته، روی تنظیم و هماهنگی رله‌های حفاظتی واقع در سیستم انتقال انرژی می‌گذارد. این دو جنبه بایستی بطور جداگانه تجزیه و تحلیل شوند.

انتخاب حفاظت مناسب برای ژنراتور یا ترانسفورماتور بایستی با ملاحظات اقتصادی همراه باشد. قدرت نامی می‌تواند به عنوان معیاری برای انتخاب حفاظتهای مناسب در نظر گرفته شود. اما این به تنهایی کافی نیست و بایستی با عوامل دیگری همراه گردد. مثلاً محل قرار گرفتن این

POWEREN.IR

تجهیزات، نوع استفاده از آنها و میزان اهمیت و حساسیت که در یک مجموعه دارا می باشند از جمله

POWEREN.IR
PowerEn.ir

مواردی هستند که بایستی در انتخاب سیستمهای حفاظتی به حساب آیند.

برای در نظر گرفتن نقش ترانسفورماتور بعنوان بخشی از سیستم انتقال انرژی و اثری که روی هماهنگی و تنظیم رله‌ها می‌گذارد، لازم است ابتدا مدل مناسبی برای ترانسفورماتور تعریف شود تا بتوان به کمک آن ویژگیهای ترانسفورماتور را در برنامه‌های کامپیوتری توصیف کرد. به همین دلیل در بخشهای بعدی به بررسی مدار معادل‌های موجود برای انواع ترانسفورماتور و انتخاب یک مدل مناسب برای توصیف آنها خواهیم پرداخت.

۱-۷- حفاظت ژنراتورها

۱-۱-۷- انواع خطاهای معمول در ژنراتورها

چند نوع از معمولترین خطاهای ژنراتور عبارتند از:

۱ـ اتصالی در سیم پیچی استاتور [۳]

الف – اتصال در سیم پیچی فازها

ب – اتصالی در حلقه‌های یک کلاف

ج – اتصال به زمین (اتصال یک فاز با هستهٔ استاتور)

۲- اتصالی در رتور

الف – اتصال به زمین یک قطب (اتصال سیم پیچ رتور به زمین)

ب – قطع سیم‌پیچ تحریک کننده

۳- حفاظت در مقابل بار ناخواسته

الف ـ بار نامتعادل

ب ـ بار متعادل

لازم به توضیح است که خطاهای یاد شده در بالا، خطاهایی هستند که دارای اهمیت بیشتر می‌باشند.

۲-۱-۷- روشهای حفاظت استاتور

الف – حفاظت در برابر خطای فاز به فاز

ب – حفاظت در برابر اتصالی حلقه‌های یک کلاف

ج – حفاظت در برابر اتصال فاز به زمین

الف- حفاظت در برابر اتصال فاز به فاز[۳و۲]

به منظور بررسی اتصالی در فازهای یک ژنراتور شکل (۱-۷) را در نظر می‌گیریم؛ این شکل حفاظت تفاضلی از نوع جریان گردشی را برای اتصالی فاز به فاز ژنراتور نشان می‌دهد. لازم‌به یادآوری است که سیم‌پیچهای B در شکل، سیم‌پیچهای بایاس و سیم پیچهای OP، سیم‌پیچهای عمل‌کننده هستند. همانگونه که دیده می‌شود، چنانچه اتصالی فاز - فاز در ژنراتور، داخل ناحیه حفاظتی مانند نقطه F خطا رخ داده باشد از دو سیم پیچ عمل کننده (T,S) رله تفاضلی جریان می‌گذرد و سبب عملکرد سیستم می‌گردد.

PowerEn.ir

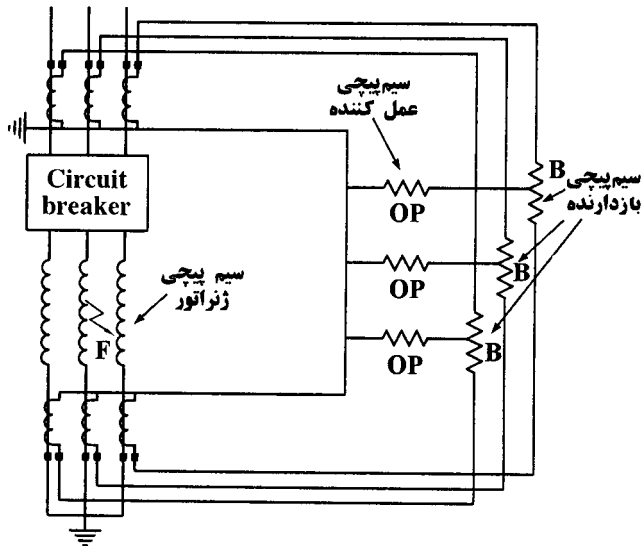
لازم به توضیح است که در صورت عملکرد حفاظت ژنراتور عملیات زیر انجام می‌پذیرد.

۱ - سیستم تحریک ژنراتور را به تدریج تضعیف و در نهایت قطع می‌کند.

۲ - سیستم ورود سوخت یا انرژی به قسمت گردنده را قطع می‌کند.

۳ - کلید قدرت انرژی دهنده به شبکه را قطع می‌کند.

چنانچه اتصالی در خارج از ناحیه حفاظتی باشد فقط از سیم پیچهای بازدارنده سیستم حفاظتی، جریان می‌گذرد و رله فرمان قطع صادر نمی‌کند.



شکل (۱-۷): حفاظت تفاضلی از نوع جریان گردشی برای اتصال فاز - فاز ژنراتور

ب - حفاظت در برابر اتصالی مربوط به حلقه‌های یک کلاف (یک فاز)[۶]

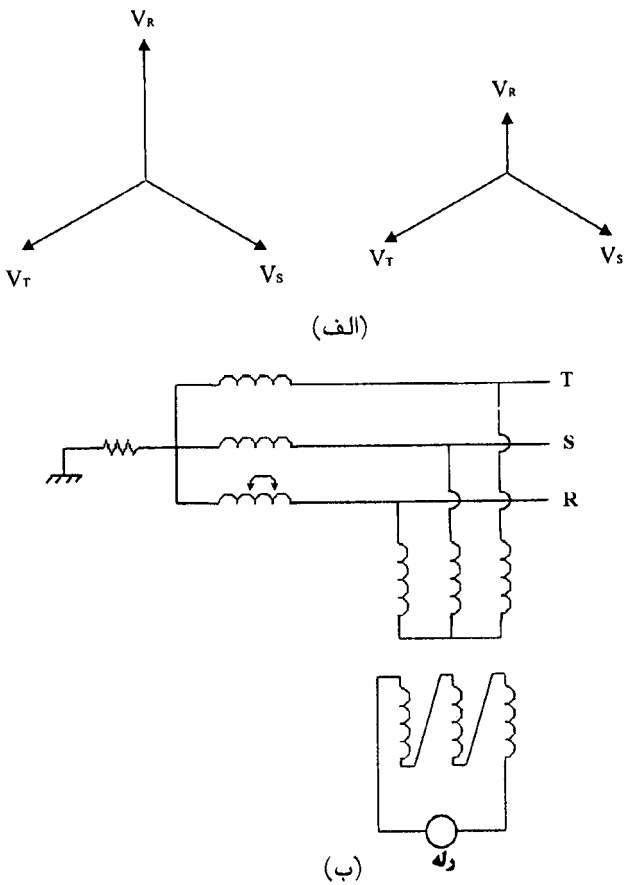
برای حفاظت در مقابل این نوع خطا دو روش مرسوم است:

روش اول: روش ولتاژ باقی‌مانده

مـدار مـربوط بـه ایـن نـوع حـفاظت در شکـل (۲-۷) تـرسیم شـده است. در ایـن روش، ترانسفورماتورهای ولتاژ بصورت سری به هم متصل شده‌اند و از مجموع ولتاژهای سه فـاز، بـرای آشکار سازی خطا استفاده می‌شود.

PowerEn.ir

در حالتی که خطایی در هیچ‌یک از فازها رخ نداده باشد، مجموع ولتاژهای سر سیم‌پیچ تغذیه‌کننده رله صفر است.



شکل (۲-۷) مدار و نموداربرداری حفاظت شده
(الف) نموداربرداری ولتاژهای آن
(ب) مدار حفاظت به روش ولتاژ باقیمانده برای اتصال حلقه
به همراه نمودار برداری ولتاژهای آن

POWEREN.IR

$$U_r + U_s + U_T = 0 \qquad (۷-۱)$$

با رخ دادن خطا در یکی از فازها، دیگر مجموع ولتاژهای سه سیم پیچ فوق، صفر نخواهد بود. این مطلب از روی نمودار برداری ولتاژها بخوبی مشخص می‌شود.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

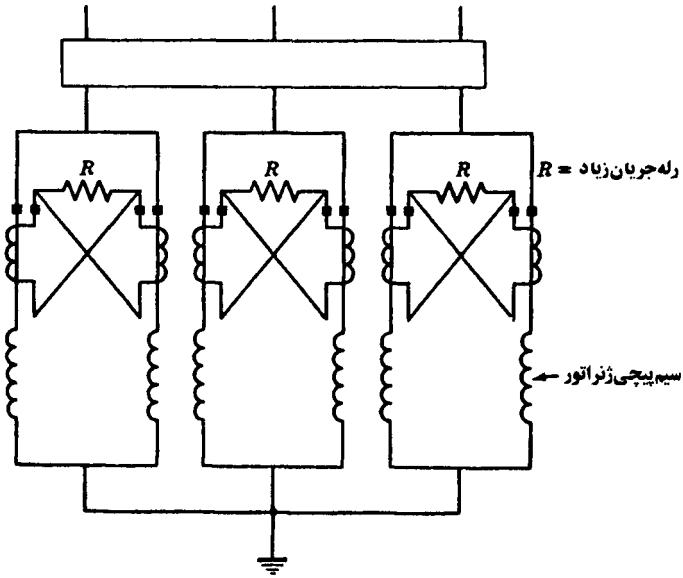
$$U_{RES} = U_R + U_S + U_T \qquad (۷-۲)$$

آشکار شدن ولتاژ فوق، در دو سر رله، باعث تشخیص خطا بوسیله رله و عملکرد آن می‌شود.

روش دوم: روش حفاظت تفاضلی

مدار این نوع حفاظت نیز در شکل (۳-۷) آمده است.

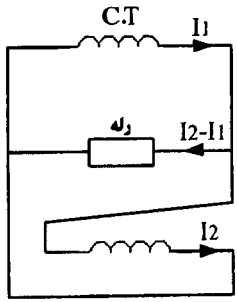
این روش، زمانی بکار می‌رود که حداقل دو سیم‌پیچ برای هرفاز موجود باشد. زیرا در صورت عدم وجود حداقل دو سیم‌پیچ برای هر فاز، نصب حفاظت تفاضلی ممکن نیست.



شکل (۳-۷): حفاظت تفاضلی برای اتصالی از سیم پیچهای یک کلاف

در حالت کار عادی، جریانهای سیم‌پیچ رله با هم برابر، ولی در خلاف جهت یکدیگر هستند. در نتیجه از رله، جریانی نمی‌گذرد. حال اگر تعدادی از حلقه‌های یکی از کلافها، با هم اتصال پیدا کنند، جریان آن کلاف با جریان کلاف سالم تفاوت خواهد کرد (زیرا تعداد حلقه‌های موثر که ولتاژ تولید می‌کند در سیم‌پیچی دچار خطا شده کاهش یافته است). در نتیجه تفاضل جریان دو سیم پیچ ($I_۱ - I_۲$) از رله عبور کرده، باعث عمل کردن آن می‌شود. در شکل (۴-۷) هنگامی که خطا اتفاق نیافتاده تفاضل دو جریان صفر می‌شود، یعنی $I_۱ - I_۲ = ۰$؛ در حالت وقوع خطا $I_۱ - I_۲ \neq ۰$ است.

PowerEn.ir



شکل (۴-۷): مسیر جریانهای عبوری از رله بهنگام وقوع خطا

ج- حفاظت ژنراتور در برابر اتصال به زمین سیم پیچی استاتور[۴]

به منظور بررسی روشهای حفاظت اتصال به زمین سیم‌پیچی استاتور، دو تحلیل را مدنظر قرار میدهند [۴]:

روش اول: استفاده از حفاظت تفاضلی معمولی جریان گردشی

به منظور بررسی نحوه حفاظت مذکور در مقابل خطاهای فاز به زمین، شکل (۵-۷) را در نظر بگیرید. سؤال اینجاست که آیا این حفاظت (حفاظت مربوط به اتصال فاز - فاز) می‌تواند خطاهای فاز به زمین سیم پیچی استاتور را بپوشاند یا خیر؟ دیگر اینکه بررسی کنیم که تا چه درصدی از سیم‌پیچی استاتور، اتصال کوتاه فاز به زمین شود، حفاظت تفاضلی آن را خواهد دید؟ برای معین کردن این درصد یا میزان فاصله، لازم است حالتهای مختلف خطا روی سیم پیچی استاتور را همراه با تغییر مقاومت زمین کننده R، در شکل مطالعه کنیم. زیرا میزان مقاومت زمین‌کنندگی ژنراتور در تعیین درصد دخالت دارد. در شکل (۵-۷) داریم:

فرض می‌شود پارامترهایی که تعریف می‌شوند نسبت به مقادیر نامی از ژنراتور باشند.

$I_s(pu)$: تنظیم جریانی بر حسب مقادیر نسبت به واحد.[۱]

$R\ (pu)$: مقاومت زمین کنندهٔ سیستم ژنراتور بر حسب مقادیر نسبت به واحد.

$V\ (pu)$: ولتاژ فازی بر حسب مقادیر نسبت به واحد.

در این صورت با فرض نشان دادن مقدار x برای درصدی از سیم‌پیچ که حفاظت نشده باقی می‌ماند، این مقدار برابر است با:

$$\frac{I_s(pu).R(pu)}{V(pu)} \qquad (۷-۳)$$

درصد حفاظت شده برابر (x-۱) خواهد بود.

POWEREN.IR

1- Per Unit

رابطهٔ (۳-۷) وقتی بصورت غیر پریونیت نوشته شود به شکل زیر خواهد بود:

$$x=\frac{K.I_s.R}{V} \qquad (۷-۴)$$

PowerEn.ir

که در آن:

I_s : جریان تنظیمی رله بر حسب آمپر

K : نسبت تبدیل C.T

V : ولتاژ فازی بر حسب ولت

R : مقدار مقاومت زمین بر حسب اهم

است. x درصد سیم‌پیچی‌ها، حداقل فاصل از نقطه ستاره خواهد بود. که حفاظت نشده است.

موضوعی که در اینجا مهم است آن است که جریان تنظیم رله تفاضلی با توجه به نوع زمین شدن شبکه، در میزان درصدی از سیم‌پیچی که توسط حفاظت تفاضلی محافظت می‌شود، تأثیر دارد. چون حفاظت تفاضلی جریان گردشی برای خطاهای فاز به فاز می‌باشد، لذا نمی‌توان جریان پریونیت تنظیم را به هر میزان پایین آورد. پس همواره در صد قابل توجهی از سیم پیچی حفاظت نمی‌شود.

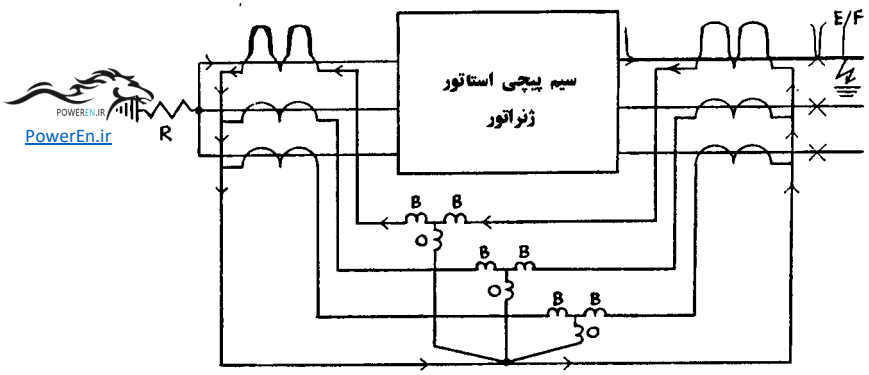
برای روشن شدن این مطلب فرض کنیم در سیستم ژنراتور حفاظت شده توسط حفاظت تفاضلی، I_s=۰/۲P.U و R=۲P.U و V=۱PU باشد در این صورت میزان درصد حفاظت نشده ژنراتور عبارت از:

$$x=\frac{I_s\times R}{V}=\frac{۰/۲\times ۲}{۱}=۰/۴$$

یعنی چهل درصد سیم پیچی حفاظت نمی‌شود. پس به حفاظت خاص دیگری برای خطاهای فاز به زمین نیاز است تا درصد بیشتری حفاظت شود.

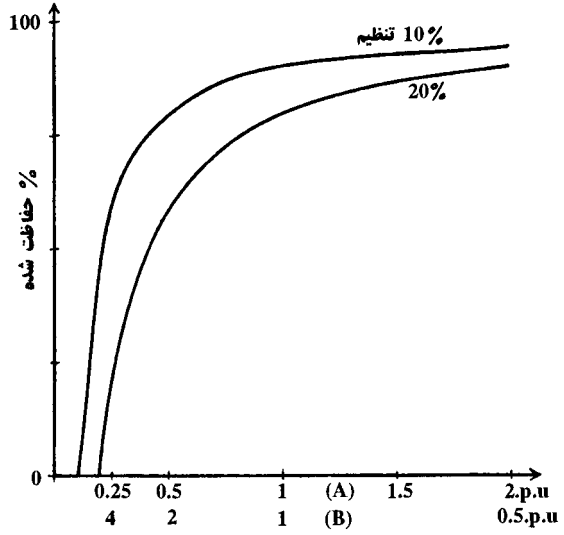
اگر در شکل (۵-۷)، R = ۰/۸P.U و I_s = ۰/۲ P.U باشد، درصد قسمت حفاظت نشده یعنی فاصله خطا تا نقطه ستاره ۱۶٪ = ۲۰ × ۰/۸ خواهد بود. بنابراین میزان ۸۴٪ سیم پیچی برای خطای زمین، حفاظت خواهد شد. شکل (۶-۷) درصد سیم پیچی حفاظت شده را برحسب جریان تنظیم و مقاومت زمین کنندگی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود برای یک مقاومت زمین ۱P.U و تنظیم رله‌ها ۱۰٪ یا ۲۰٪ جریان نامی ژنراتور، ۹۰ یا ۸۰ درصد فاز حفاظت می‌شود. به عبارت دیگر چنانچه بتوان تنظیم حفاظت ژنراتور را کمتر کرد درصد حفاظت شده بیشتر می‌شود. لازم به توضیح است که مقدار جریان تنظیم را در حفاظت جریان گردشی نمی‌توان خیلی پایین آورد زیرا حفاظت برای خطاهای فاز – فاز می‌باشد. لذا برای حفاظت فاز زمین از نوع حفاظتی استفاده شود که بتوان مقدار جریان تنظیم را خیلی کم در نظر گرفت. این حفاظت در قسمت بعد آورده می‌شود.

POWEREN.IR



PowerEn.ir

شکل (۵-۷): حفاظت تفاضلی معمولی جریان گردشی برای خطای فاز به زمین



شکل (۶-۷): درصد سیم پیچ حفاظت شدهٔ استاتور. مقیاس (A)، جریان خطای زمین و مقیاس (B) مقاومت زمین‌کننده است

روش دوم: حفاظت زمین محدوده شده[1]

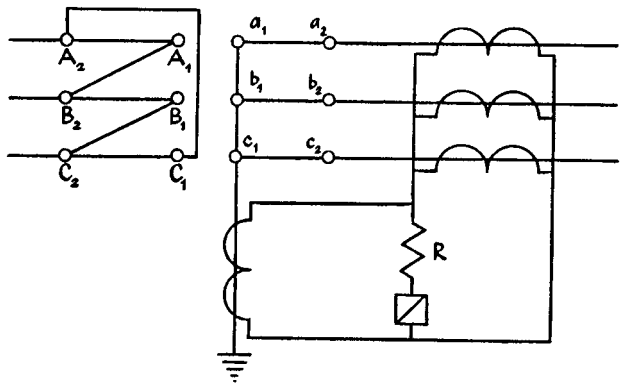
این حفاظت همانگونه که در شکل (۷-۷) آمده است برای حفاظت فاز - زمین است و خطاهای فاز - فاز چه داخل ناحیه حفاظتی و چه خارج آن به هیچ وجه توسط این نوع حفاظت نمی‌تواند پوشانده شود.

POWEREN.IR

1- Restricted Earth Fault

برای حفاظت فاز – زمین رابطه (۳-۷) می‌تواند ملاک عمل باشد. تفاوت این حفاظت با حفاظت قبلی این است که می‌توان I_s را به میزان قابل ملاحظه‌ای پایین آورد. زیرا I_s (جریان تنظیم) صرفاً مربوط به خطاهای فاز به زمین می‌باشد که میزان این جریانها در مقایسه با خطاهای – فاز – فاز خیلی کم است. به عبارت دیگر تا میزان ۵٪ جریان نامی ژنراتور هم می‌توان آن را تنظیم کرد. نتیجه این امر کاهش درصد حفاظت نشده می‌باشد.

PowerEn.ir



شکل (۷-۷): حفاظت تفاضلی زمین محدود شده برای خطای فاز به زمین

۳-۱-۷- روشهای حفاظت رتور ژنراتورها در مقابل انواع خطاها

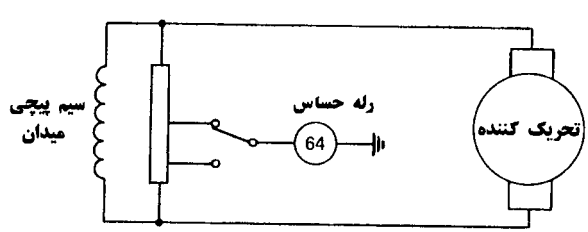
الف ـ حفاظت در مقابل خطای اتصال زمین یک فاز

ب – حفاظت در مقابل قطع تحریک

الف- حفاظت رتور در مقابل خطای اتصال به زمین سیم پیچی رتور

روش اول: **حفاظت مستقیم**[۲]

مدار این نوع حفاظت در شکل (۸-۷) آمده است.



شکل (۸-۷): حفاظت اتصال به زمین یک قطب رتور (روش مستقیم)

POWEREN.IR

همانطور که در شکل (۸-۷) دیده می‌شود مقاومتی با سیم‌پیچ تحریک، موازی شده و مرکز آن از طریق یک رله به زمین متصل می‌شود. وقتی اتصالی وجود ندارد، از رله حساس هیچ جریانی

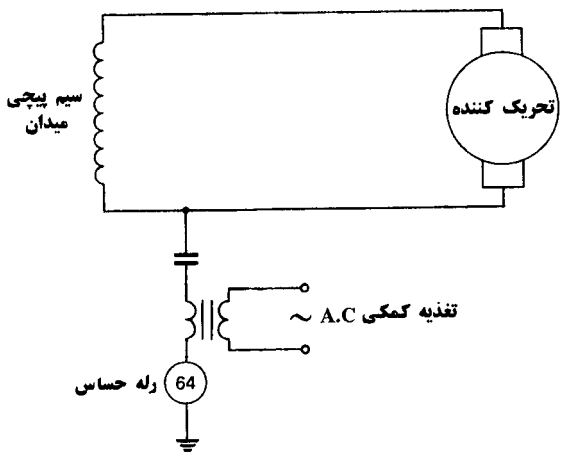
نمی‌گذرد. اما در صورت بروز اتصالی، ولتاژ در دو سر رله قرار می‌گیرد و رله آنرا احساس کرده و عمل می‌کند. همانطور که در قسمت (۲ـ۱ـ۷ الف) گفته شده پس از فرمان رله، سیستمهای تغذیه‌خطر ورودی (انرژی ورودی) به توربین قطع می‌گردد.

PowerEn.ir

اشکال این روش این است که اگر خطا در مرکز سیم‌پیچی تحریک واقع شود ولتاژی روی رله قرار نمی‌گیرد. یعنی حفاظت یاد شده، این نوع خطاها را نمی‌تواند تشخیص دهد. سوئیچی که در مسیر رله قرار دارد برای آن است که هر چند وقت یک بار با تغییر وضعیت آن بتوان اتصالی احتمالی روی مرکزسیم پیش را تشخیص داد. به همین خاطر روش دومی در زیر به منظور برطرف نمودن این اشکال پیشنهاد می‌شود.

روش دوم: روش تزریق تغذیه جریان متناوب[۲]

در این روش یک منبع تغذیه متناوب، ولتاژ متناوبی را توسط ترانسفورماتور ولتاژ به مدار حفاظت تزریق می‌نماید. چون در این روش، ولتاژی از خارج تزریق می‌شود، برای اتصال کوتاه‌ها در ترمینالهای سیم‌پیچی تحریک هم مشکلی ایجاد نمی‌کند. به عبارت دیگر اگر عیب در هر نقطه‌ای رخ دهد، ولتاژی متناوب در مدار قرار می‌گیرد و جریانی از رله عبور کرده و رله عمل می‌کند. مدار مربوط به این حفاظت در شکل (۹-۷) رسم شده است.



شکل (۹-۷): حفاظت با استفاده از تزریق تغذیه متناوب

POWEREN.IR

ب – حفاظت در مقابل قطع تحریک رتور[1]

POWEREN.IR
PowerEn.ir

روش اول: استفاده از رلهٔ جریان کم[۲]

شکل (۱۰ـ۷)، حفاظت قطع تحریک را با استفاده از رلهٔ جریان کم[2] نشان می‌دهد. وقتی که تحریک قطع می‌گردد، مقدار جریان در مقاومت خیلی کم می‌شود و به سمت صفر میل می‌کند. و از آنجا که رلهٔ بکار گرفته شده در این طرح، رلهٔ جریان کم است یعنی تنظیم آن بگونه‌ای است که اگر جریان کمتر از جریان تنظیمی ($I_{\circ}$) شود رله را قطع می‌کند، لذا با عبور جریان کم، رله فرمان قطع می‌دهد و ژنراتور قطع خواهد شد.

روش دوم: استفاده از رلهٔ دیستانس خاص

این نوع حفاظت در شکل (۱۱ـ۷) نشان داده شده است. در این نوع حفاظت رله، دیستانس با مشخصه خاص روی ترمینال‌های استاتور ژنراتور قرار می‌گیرد.

پس از مطالعه مکان هندسی امپدانس دیده شده برای ژنراتورهای مختلف نیروگاهی، با در نظر گرفتن قابلیت انعطاف آن، حدود مشخصه را برای رله دیستانس معین می‌کنند. این مشخصه معین خواهد کرد که وقتی قطع تحریک رخ دهد مکان مشخصه، داخل آن دایره قرار خواهد گرفت. با توجه به این امر وقتی سیم پیچی تحریک ژنراتور قطع می‌شود، منحنی مشخصهٔ امپدانس دیده شده توسط رله، مطابق شکل (۱۲ـ۷) به داخل ناحیهٔ حفاظتی میل می‌کند. همانطور که گفته شد این ناحیه به مشخصات ژنراتور بستگی دارد. به محض وقوع قطع تحریک، مکان هندسی امپدانس، در داخل ناحیهٔ قطع قرار می‌گیرد و رله عمل می‌کند. البته همانند هر رله دیگر، مشخصه رله قطع تحریک، دارای تنظیم‌های مختلفی خواهد بود که البته با توجه به نوع ژنراتور و مشخصات آن منحنی، تنظیم مناسب حفاظت آن ژنراتور انتخاب می‌گردد [۶].

۴ـ۱ـ۷ـ حفاظت در مقابل بار ناخواسته

الف ـ بار نامتعادل

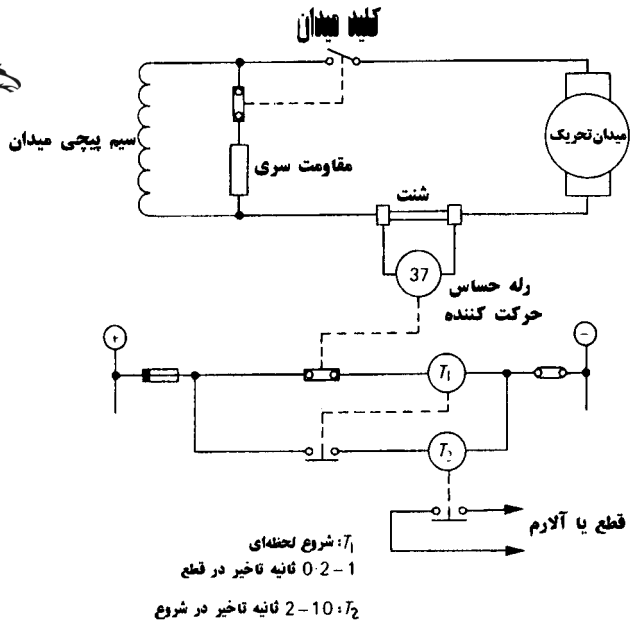
ب – اضافه‌بار

POWEREN.IR

1- Loss of Field

2- Under Current

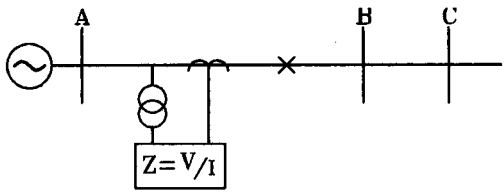
PowerEn.ir



شکل (۱۰ـ۷): حفاظت قطع تحریک با استفاده از رلهٔ جریان کم

الف – حفاظت در برابر بار نامتعادل

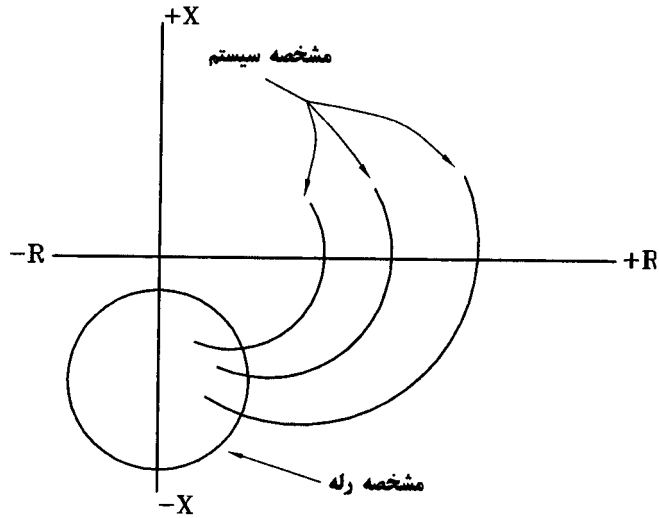
بار نامتعادل ژنراتور را می‌توان به مؤلفه‌های متقارن مثبت، منفی و صفر تجزیه کرد. میدان مغناطیسی گردشی مؤلفه‌های مثبت و منفی در استاتور در خلاف جهت هم است. تلفات فوکوی روتور ژنراتور متناسب با مجذور فرکانس است. وقتی بار نامتعادل می‌شود دو نوع گردش مثبت و منفی میدان دارد. با توجه به مخالف بودن جهت میدان مغناطیسی حاصل از مؤلفه منفی، فرکانس این مؤلفه دو برابر فرکانس مؤلفه مثبت در تلفات فوکوی تولیدی در رتور اثر می‌کند یعنی:



POWEREN.IR

شکل (۱۱ـ۷): حفاظت قطع تحریک با استفاده از رلهٔ دیستانس خاص

PowerEn.ir



شکل (۲ ۱ـ۷): مکان هندسی امپدانس دیده شده توسط رلهٔ دیستانس خاص در قطع تحریک

$$P_1 = K(f_1)^2 \qquad (۷-۵)$$

$$f_2 = 2f_1$$

$$P_2 = K(2f_1)^2 = 4k(f_1)^2$$

در این رابطه P_1 و P_2 تلفات ناشی از مؤلفه‌های مثبت و منفی و f_1 و f_2 فرکانسهای مربوط به مؤلفه‌های مثبت و منفی می‌باشند.

بنابراین کل جریان نامتعادل تلفات زیادی را به همراه خواهد داشت که ناشی از مؤلفه منفی جریان است. برای تشخیص این نامتعادلی باید بتوانیم جریان توالی منفی را تشخیص دهیم؛ این جریان اگر از حد معینی بیشتر شود، رله فرمان قطع صادر کند. لذا ذیلاً جهت تشخیص نامتعادلی بیش از معمول، به تشریح یک نوع رله جریان توالی منفی‌سنج پرداخته می‌شود.

- رله جریان توالی منفی‌سنج:[۴و۱]

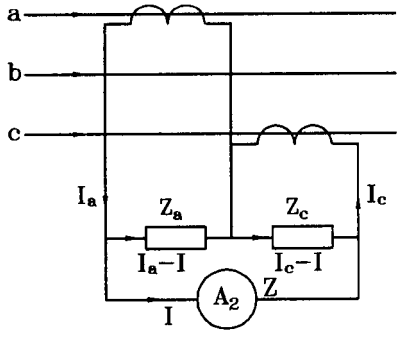
شکل (۱۳-۷)، مدار یک نوع رله را که جریان توالی منفی را تشخیص می‌دهد نشان می‌دهد.

$$(I_a - I)\,Z_a + (I_c - I)\,Z_c - IZ = 0$$

$$I = \frac{I_a Z_a + I_c Z_c}{Z_a + Z_c + Z} = k.I_2 \qquad (۷-۶)$$

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۱۳ـ۷): رلهٔ توالی منفی‌سنج

با توجه به شکل (۱۳-۷):

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_b = \alpha^2 I_{a1} + \alpha I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_c = \alpha I_{a1} + \alpha^2 I_{a2} + I_{a0}$$

چنانچه امپدانس Z_a , Z_c را به گونه مطابق روابط (۷-۷) انتخاب کنیم، جریان عبوری از رله متناسب با جریان مؤلفهٔ منفی خواهد بود.

(۷-۷)

$$Z_a = Z' < -90^\circ$$

$$Z_c = Z' < +30^\circ$$

یعنی امپدانس‌های Z_a , Z_c در شکل (۱۳ـ۷) با یکدیگر به اندازه ۱۲۰° اختلاف دارند.

ب - حفاظت در مقابل اضافه بار

این حفاظت می‌تواند مربوط به جریان زیاد متعادل یا نامتعادل باشد. در اینجا ما جریان زیاد متعادل را در نظر می‌گیریم [۲و۱].

حرارت ایجاد شده در سیم پیچی استاتور برابر است با:

$$P = RI^2 \qquad (۷-۸)$$

$$I = 1/5\ In$$

در رابطه (۸ـ۷)، R مقاومت سیم‌پیچی و I جریان استاتور می‌باشد.

در اینجا اگر جریان از یک حدی بیشتر شود حرارت تولید شده زیاد می‌شود و مدار جریان بایستی قطع

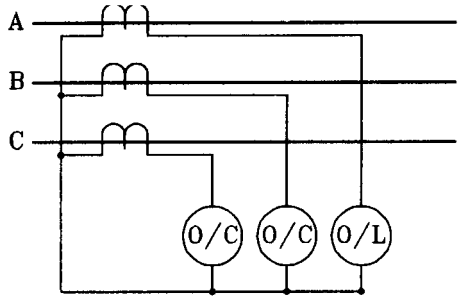
شود. در این حالت دو روش برای تشخیص افزایش جریان از یک حد معین وجود دارد.

روش اول: استفاده از دستگاه‌های حفاظت حرارتی که عبارت است از یک بی متال و یا مقاومت حرارتی که معمولاً در شیارهای سیم‌پیچی استاتور قرار می‌گیرد.

PowerEn.ir

اشکال این روش آن است که پس از بروز عیب، باید بی‌متال یا مقاومت حرارتی را از ژنراتور خارج کرد، و این امر مستلزم خارج ساختن سیم‌پیچی در شیار استاتور است. از این جهت امروزه از روش دوّم استفاده می‌شود.

روش دوم: استفاده از رله حرارتی که معمولاً آن را روی فاز سوم و در ترکیب با دو رله جریان زیاد مطابق شکل (۱۴ـ۷) قرار می‌دهند.



شکل (۱۴ـ۷): حفاظت رله بار زیاد در ترکیب با جریان زیاد

۲-۷- حفاظت ترانسفورماتورها

۱-۲-۷- طبیعت خطاها در ترانسفورماتور

بخاطر طبیعت غیرمتحرک ترانسفورماتور قدرت، می‌توان حفاظتی با قابلیت اطمینان بیشتر نسبت به ژنراتور طراحی کرد. از طرفی برخی خطاها که ناشی از منابع خارجی نظیر رعد و برق و یا خطاهای ولتاژهای ناشی از کلیدزنی هستند ممکن است سبب بروز عیب در ترانسفورماتور شوند.

خطاهائی که منشاء داخلی دارند عبارتند از [۲و۱]:

الف - خطاهای ناشی از عیب در عایق بندی سیم‌پیچها، ورق‌ها و یا پیچ‌های نگهدارنده هسته، پیچهایی که توسط آنها ورقه‌های تشکیل دهنده هسته در کنار هم نگه داشته می‌شوند ساخت، کیفیت نامطلوب یا شکنندگی در اثر کهنگی و یا اضافه بار.

ب - خرابی روغن که می‌تواند از کیفیت پائین روغن، نفوذ رطوبت، تجزیه روغن در نتیجه افزایش حرارت در آن و یا ایجاد رسوب حاصل از اکسیده شدن روغن در اثر اتصالات بد الکتریکی ناشی گردد. در این شرایط دیگر روغن قادر نیست وظیفه خود را به عنوان یک عایق الکتریکی بطور مطلوبی ایفا نماید و در نتیجه احتمال بروز خطا در اثر پایین آمدن خاصیت دی الکتریک روغن وجود خواهد داشت. از این‌رو بایستی کیفیت روغن بطور پیوسته تحت کنترل و نظارت قرار گیرد.

ج - کاهش سطح روغن بخاطر نشتی

د - عدم توانایی ترانسفورماتور در تحمل تنشهای ناشی از خطا که این مسئله ممکن است در نتیجه طراحی ضعیف و یا تکرار تنشهای مکانیکی شدید ناشی از جریانهای بالای خطا در یک نقطه خاص باشد. تکرار این تنشها می‌تواند موجب شل شدن بست‌ها و اتصالات و در نهایت افتادن آنها گردد.

هـ - خطاهای تپ چنجر

و - خطاهای سیستم خنک کننده

با طراحی یک سیستم اخطار دهنده مناسب که در معرض دید بهره‌برداران قرار داشته باشد، می‌توان هریک از این وقایع را در اسرع وقت به اطلاع پرسنل مربوطه رساند تا پیش از وقوع یک آسیب جدی و جبران ناپذیر، نسبت به رفع آنها اقدام گردد.

شرایط خارجی که می‌توانند باعث بروز عیب در ترانسفورماتور گردند، عبارتند از:

الف - خطاهای شدید بیرون از ترانسفورماتور

جریانهای زیاد می‌توانند در سیم‌پیچی ترانسفورماتور و همینطور عایق‌بندی آن تنشهای مکانیکی شدیدی تولید نمایند.

ب - اضافه بارها

این پدیده نیز تنش‌های مکانیکی در سیم‌پیچها و عایق بندی تولید می‌کند. اگرچه میزان اثرات آن در مقایسه با شرایط وقوع اتصال کوتاه خیلی کمتر است، ولی مدت زمان طولانی‌تری می‌تواند روی سیستم باقی بماند.

ج - امواج ناشی از کلید زنی

این امواج، که ممکن است ولتاژی تا چند برابر ولتاژ نامی کار سیستم را داشته باشند دارای پیشانی خیلی تند و در نتیجه فرکانس معادل بالایی هستند. این مسئله سبب بروز تنش در دورهای انتهایی سیم پیچ گردیده و احتمال تخلیه جزئی و جرقه‌زنی در این قسمت از سیم‌پیچ وجود خواهد داشت. هرچند که بطور معمول در این ناحیه، عایق‌بندی را تقویت کرده باشند.

د - صاعقه

احتمال خطر، فقط در مناطقی است که ترانسفورماتور در فضای باز و متصل به یک خط هوایی باشد. در این شرایط معمولاً ترانسفورماتور را به برق‌گیر مجهز می‌کنند. همچنین خطاهایی ممکن است از طریق شبکه نظیر بار زیاد به ترانسفورماتور تحمیل شود و یا در خود ترانسفورماتور اتفاق افتد که ذیلاً به اهم آنها می‌پردازیم:

۲ـ۲ـ۷ـ انواع خطاهای معمول در ترانسفورماتورها

الف ـ خطای فاز – فاز

ب – خطای فاز – زمین

ج – اتصال حلقه‌های یک کلاف

د – آسیب هسته، وصل شدن دو لایه هسته به هم، عیب تانک یا نشتی، عدم گردش روغن و در نتیجه گرم شدن هسته.

هـ – بار زیاد

PowerEn.ir

۳ـ۲ـ۷ـ روشهای حفاظت ترانسفورماتورها در مقابل انواع خطاها

بطور کلی می‌توان حفاظتهای مورد استفاده در یک ترانسفورماتور را بـه دو دسـته مکـانیکی و الکتریکی تقسیم کرد. حفاظتهای مکانیکی معمولاً به عنوان اجزای ترانسفورماتور در مرحله طراحی در کارخانه سازنده در نظر گرفته می‌شوند و نسبت به تغییرات در کمیّتهای مکانیکی مانند حجم و فشار روغن در محفظه ترانسـفورماتور در هـنگام وقـوع خـطا عکس العـمل نشـان مـی‌دهند. امـا حفاظتهای الکتریکی، بایستی در هنگام انتخاب و نصب ترانسفورماتور طراحی شوند. با تـوجه بـه اینکه ترانسفورماتور به عنوان یکی از اجزاء بسیار گرانقیمت سیستم قدرت می‌باشد، لذا حفاظت‌های آن از حساسیت خاصی برخوردارند. این حفاظتها را می‌توان به دو دسته واحد و غیرواحد تقسیم نمود. حفاظتهای واحد در حقیقت به منظور حفاظت محدوده ترانسفورماتور به کار می‌روند و نبایستی نسبت به وقوع خطا در خارج از ترانسفورماتور عکس‌العمل نشان دهند. اما حفاظتهای غیرواحد بخشی از حفاظت سیستم قدرت بوده و بایستی با سایر حفاظتهای موجود در سیستم بطور هـماهنگ عـمل نمایند.

برای ترانسفورماتورهای بزرگتر از ۵ مگا ولت آمپر، بطور معمول حفاظتهای زیر در نظر گـرفته می‌شود [۶و۴]:

ـ حفاظت تفاضلی

ـ حفاظت تفاضلی زمین محدود شده

ـ حفاظت ولتاژ باقیمانده

ـ حفاظت بوخهلس

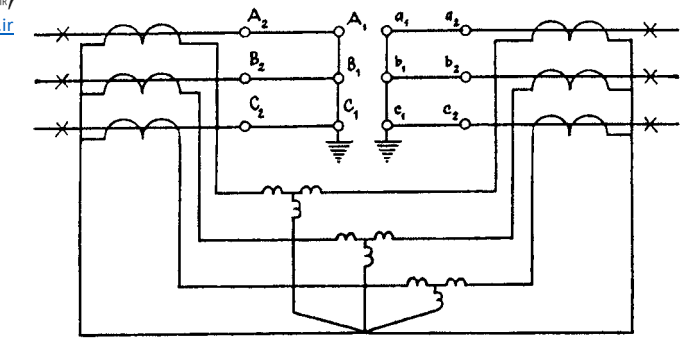
ـ حفاظت بار زیاد

POWEREN.IR

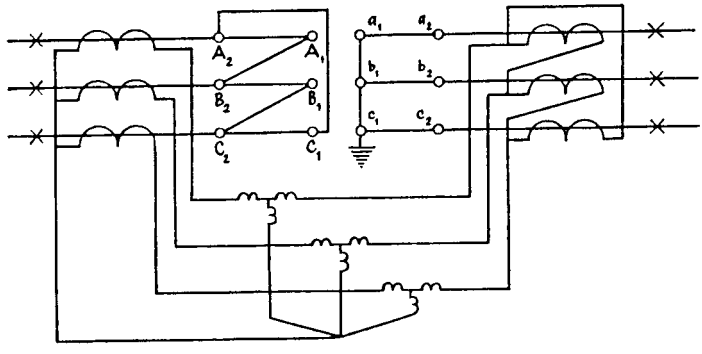
۱ـ۳ـ۲ـ۷ـ حفاظت در مقابل خطای فاز – فاز

در حفاظت خطای فاز – فاز ترانسفورماتورها، از رلهٔ تـفاضلی مـطابق شکـل (۱۵ـ۷) اسـتفاده

PowerEn.ir



(الف)



(ب)

شکل (۱۵ـ۷): حفاظت خطای فاز - فاز ترانسفورماتورها به کمک رلهٔ تفاضلی
(الف) اتصال ترانسفورماتور نوع yy (ب) اتصال ترانسفورماتور نوع Dyn

در طرح فوق، باید چند نکته را مورد توجه قرار دهیم که عبارتند از:

الف- اتصال رله‌های تفاضلی نوع yy:

با توجه به اینکه اولیه و ثانویه اختلاف فازی ندارند و یا با یکدیگر ۱۸۰° اختلاف فاز دارند لذا اتصال ترانسفورماتورهای جریان دو طرف ترانسفورماتور توان، هر دو به صورت ستاره منظور می‌شوند.

البته برای یکسان شدن ثانویه ترانسفورماتورهای جریان لازم است نسبت تبدیل ترانسفورماتورها به گونه‌ای باشد که برای خطاهای خارجی و یا بار، جریان ثانویه ترانسفورماتورهای جریان، یکسان باشد، این مطلب باعث می‌شود که در نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان دوم، نسبت تبدیل ترانسفورماتور توان لحاظ شود.

ب ـ اتصال رله‌های تفاضلی نوع DYn:

چون جریانهای اولیه و ثانویه ۳۰° اختلاف فاز دارند به منظور هم فاز و هماهنگ نمودن جریانهای ثانویه C.T در یک فاز و هماهنگ بودن آنها با یکدیگر، ثانویه‌های C.T در طرف مثلث ترانسفورماتور بصورت ستاره و در طرف ستاره بصورت مثلث در نظر گرفته می‌شود.

PowerEn.ir

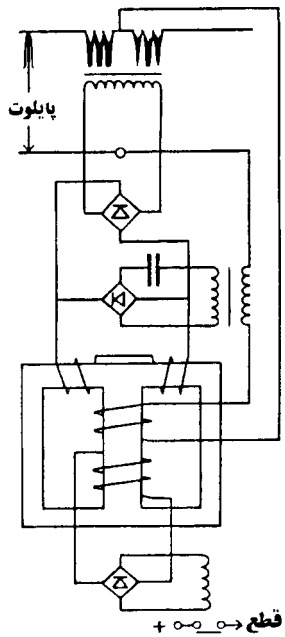
در خصوص نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان لازم است یادآوری شود که، برای خطاهای خارجی نباید هیچگونه جریانی از سیم‌پیچ عمل کننده عبور کند. از آنجاییکه ترانسفورماتورهای جریان دو طرف یکی به صورت ستاره و دیگری به صورت مثلث بسته شده است، نسبت اولیه ترانسفورماتورهای جریان، همان نسبت تبدیل ترانسفورماتور توان است. یعنی اگر اولیه ترانسفورماتور جریان طرف ۳۳ کیلوولت، ۴۰۰ آمپر منظور شده، اولیه ترانسفورماتور جریان طرف ۱۱ کیلوولت، ۱۲۰۰ آمپر یعنی سه برابر در نظر گرفته می‌شود. چنانچه ثانویه ترانسفورماتور جریان طرف ۳۳ کیلوولت، ۵ آمپر منظور شود، ثانویه ترانسفورماتور جریان طرف ۱۱ کیلو ولت، به علت اینکه به صورت مثلث بسته شده است $\frac{5}{\sqrt{3}}$ یعنی ۲/۸۹ آمپر منظور می‌شود. این عمل بدان خاطر است که جریان سیم‌های پایلوت در دو طرف سیم‌پیچی عمل کننده رله تفاضلی برابر شوند و جریانی از سیم‌پیچ عمل کننده عبور نکند و رله قطع ننماید.

ج - تنظیم رله‌های تفاضلی ترانسفورماتور

رله‌های تفاضلی ترانسفورماتور، دارای بایاس بوده و تنظیم آنها ۴۰٪ تنظیم جریان نامی در نظر گرفته می‌شود. همچنین بایاس آنها ۲۰٪ انتخاب می‌گردد یعنی تنظیم رله‌های تفاضلی ترانسفورماتور توان، زیاد است. دلیل آن این است که:

- ترانسفورماتورهای بزرگ توان با تپ چنجر زیر بار کار می‌کنند. بنابراین تغییر تپ‌ها سبب تغییر نسبت تبدیل می‌شود. لذا میزان تنظیم باید زیاد باشد تا رله به هنگام تغییر تپ قطع نکند.
- از آنجائی که دو سمت C.Tها مختلف هستند یعنی مقادیر نامی ولتاژ و جریان متفاوتی دارند لذا تطبیق دادن آنها با هم مشکل است.
- مسئله جریان هجومی که به هنگام وصل کردن ترانسفورماتور به برق ایجاد می‌شود، سبب عملکرد رله نمی‌گردد. هنگام برقرار کردن ترانسفورماتور، جریان هجومی از ترانسفورماتور کشیده می‌شود که بعلت زیاد بودن دامنهٔ آن، ممکن است باعث عملکرد ناخواستهٔ رله گردد و به اشتباه آن را به عنوان خطای فاز - فاز تشخیص دهد. از آنجا که جریان هجومی و جریان خطای فاز - فاز، در مؤلفهٔ هارمونیکی دوّم جریان، با هم تفاوت عمده‌ای دارند، از مدار شکل (۱۶ـ۷)، به کمک جریان مؤلفهٔ دوّم هارمونیکی برای تشخیص جریان هجومی از جریان خطای فاز - فاز استفاده می‌شود [۴].

PowerEn.ir



شکل (۱۶ـ۷): مدار بایاس هارمونیک دوم

مدار شکل (۱۶ـ۷) یک مدار رزونانس ۱۰۰ هرتز می‌باشد که حساس به هارمونیک دوم است؛ همانطور که در شکل دیده می‌شود هنگامی که مؤلفه هارمونیک دوم زیاد است سیم‌پیچ سری شده با سیم‌پیچ عمل‌کننده، امپدانس زیادی از خود نشان می‌دهد و لذا جریان عبوری از سیم‌پیچی عمل کننده بسیار کم می‌باشد. در عوض، مدار الکترونیکی سبب افزایش جریان و میدان در سیم‌پیچ‌های بازدارنده شده و رله عمل نمی‌کند. در حالی که وقتی هارمونیک دوم از مقدار آستانه کمتر است امپدانس سری با سیم‌پیچ عمل کننده بسیار کم بوده و در نتیجه جریان زیادی از سیم‌پیچ عمل کننده عبور می‌کند. در حالیکه سیم‌پیچ بازدارنده تضعیف شده و سبب عملکرد رله می‌شود.

۲ـ۳ـ۲ـ۷ـ حفاظت اتصال به زمین یک فاز

در اینجا در نظر است بررسی شود که آیا حفاظت تفاضلی معمولی (حفاظت تفاضلی فاز – فاز) می‌تواند شبکه را در مقابل اتصال کوتاه فاز به زمین حفاظت کند یا خیر؟ در صورت مثبت بودن پاسخ، چه درصدی از سیم پیچی توسط حفاظت تفاضلی در مقابل اتصال کوتاه فاز به زمین حفاظت می‌گردد [۴].

برای پاسخ دادن به این سؤال مجدداً شکل (۱۵ـ۷) را در نظر می‌گیریم؛ در این شکل چنانچه به وسیله حفاظت تفاضلی بخواهیم خطای فاز به زمین را تشخیص دهیم میزان درصدی حفاظت شده را محاسبه می‌کنیم:

فرض بر این است که خطایی بر روی سیم‌پیچ ترانسفورماتور طرف ستاره رخ داده است:

x: درصد حلقه‌های حفاظت نشده

V_s: ولتاژ فازی طرف دوم

PowerEn.ir

R: مقاومت زمین کننده

N_s: تعداد حلقه‌های ثانویه ترانسفورماتور توان

N_p: تعداد حلقه‌های اولیه ترانسفورماتور توان

k: تبدیل ترانسفورماتور جریان در اولیه ترانسفورماتور توان

I_s: جریان تنظیم رله

اگر xV_s ولتاژ سیم‌پیچ مرز عملکرد رله باشد، I_1 جریان عبوری از اولیه در طرف ستاره مدار از رابطه (۷ـ۹) بدست می‌آید.

$$I_1 = \frac{xV_s}{R} \qquad (۷ـ۹)$$

مقدار جریان در طرف مثلث عبارتست از:

$$I_2 = \left(\frac{xV_s}{R}\right)\left(\frac{xN_s}{N_p}\right) \qquad (۷ـ۱۰)$$

پس با منظور کردن نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان، جریان عبوری از رله برابر خواهد بود با:

$$I_{\text{رله}} = \frac{1}{K}\left[\left(\frac{xV_s}{R}\right)\left(\frac{xN_s}{N_p}\right)\right] \qquad (۷ـ۱۱)$$

برای اینکه بازای نقطهٔ p اتصال کوتاه، رله در آستانه عملکرد باشد، لازم است که:

$$I = I_s$$

$$I_s = \frac{x^2 V_s N_s}{RN_p k} \qquad (۷ـ۱۲)$$

$$x^2 = \frac{I_s R N_p k}{V_s N_s} \qquad (۷ـ۱۳)$$

$$x = \sqrt{\frac{I_x R N_p K}{V_s N_s}} \qquad (۷ـ۱۴)$$

POWEREN.IR

و اگر مقادیر بر حسب مقادیر نسبت به واحد نوشته شوند، خواهیم داشت:

$$x^2 = \frac{\sqrt{3}\,(P_{Fs})_{pu}\, R_{pu}}{V_{pu}} \qquad (۷ـ۱۵)$$

که در آن، متغیرها بصورت زیر هستند:

P_{Fs}[1]: تنظیم درصدی رله نسبت به اولیه و بر حسب مقادیر نامی ترانسفورماتور قدرت

R_{Pu}: مقاومت زمین کننده برحسب p.u

V_{Pu}: ولتاژ برحسب p.u

PowerEn.ir

به عبارت دیگر

$$x = \sqrt{\frac{\sqrt{۳}\ (P_{Fs})\ R_{PU}}{V_{PU}}} \qquad (۷_۱۶)$$

حال چنانچه جریان تنظیم برحسب مقادیر نامی ترانسفورماتور $P_{Fs} = ۰/۲$ و $R_{pu} = ۱$ و V_{pu} باشد مقدار سیم‌پیچ حفاظت نشده مطابق رابطه (۱۶ـ۷)، برابر است با $x = ۰/۵۸۸$؛ یعنی فقط $x = ۰/۴۱۲$ x درصد یا به عبارت دیگر ۴۱٪ حفاظت می‌شود و بخش اعظمی از ترانسفورماتور بدون حفاظت می‌ماند.

در حالیکه اگر از حفاظت زمین محدود شده استفاده شود، از رابطهٔ $(x = \frac{P_{Fs}\ R_{pu}}{V_{PU}})$ استفاده می‌شود که در این صورت مقدار حفاظت نشده فقط ۲۰٪ خواهد بود. بنابراین همانند ژنراتور، نیاز به حفاظت زمین محدود شده است. لازم به توضیح است در ترانسفورماتور به علت زیاد بودن تنظیم جریان حفاظت تفاضلی نیاز به حفاظت تفاضلی زمین محدود شده بیشتر هم احساس می‌شود.

۴ـ۳ـ۲ـ۷ـ حفاظت بوخهلس

شکل (۱۷ـ۷) نشانگر حفاظت بوخهلس است. همانطور که قبلاً نیز بیان شد، وجود عیب یا نشتی روغن یا عیب عایقی و یا سایر خطاها سبب گرم شدن روغن ترانسفورماتور و تبخیر شدن روغن در درون تانک می‌گردد [۴و۳و۲].

مکانیزم عمل قطع بدین صورت است که روغن درون ترانسفورماتور، با گرم شدن، شروع به تبخیر می‌کند؛ وقتی فشار گازهای تبخیر شدهٔ خارج شونده، زیاد باشد قطعهٔ متحرک مربوط به کلید فرمان قطع به حرکت در می‌آید و فرمان قطع می‌دهد.

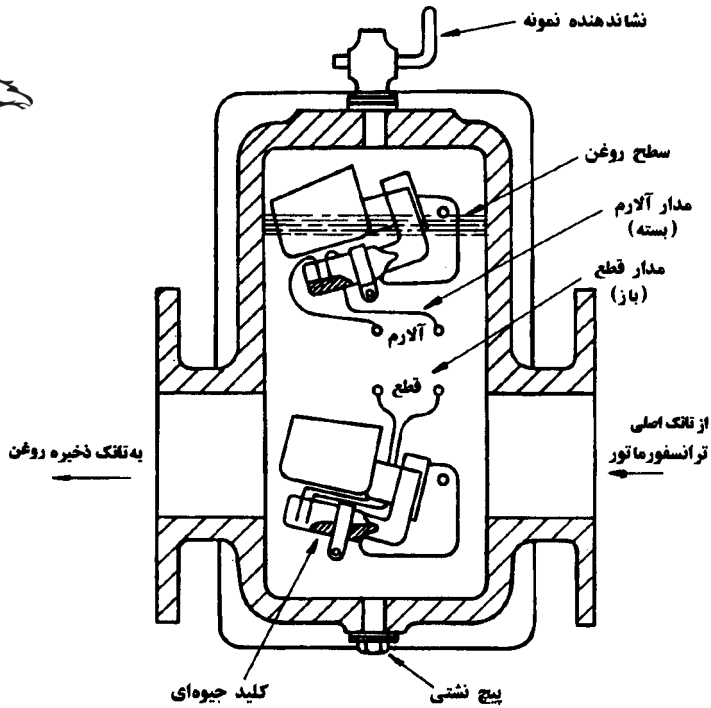
مکانیزم آلارم نیز به این صورت است که وقتی خطا شدید نباشد حرارت تولید شده نیز زیاد نیست. در نتیجه مقدار و فشار بخارهای حاصل از روغن زیاد نبوده و فقط سیستم آلارم بکار می‌افتد.

۴ـ۳ـ۲ـ۷ـ سایر حفاظت‌ها

برای خطای اتصالی حلقه‌های یک کلاف، همانند ژنراتور از حفاظت ولتاژ باقیمانده استفاده می‌شود و از رله بار زیاد به همراه رلهٔ جریان زیاد برای خطای بار زیاد استفاده می‌گردد [۱].

1- PRIMARY FAULT SETTING

PowerEn.ir



شکل (۱۷ـ۷): حفاظت بوخهلس

۳ـ۷ـ حفاظت شینه:

۱ـ۳ـ۷ـ انواع خطاها و حفاظتهای معمول برای شینه‌ها

خطاها و حفاظتهای معمول شینه‌ها عبارتند از [۶]:

الف ـ خطای فاز – فاز شینه که از حفاظت تفاضلی استفاده می‌شود.

ب ـ وصل بدنه کلیدزن به زمین که با حفاظت زمین خاص و وصل بدنه کلیدزن، حفاظت صورت می‌گیرد.

ج ـ اتصال فاز به زمین شینه که با حفاظت اتصال زمین شینه محافظت انجام می‌شود.

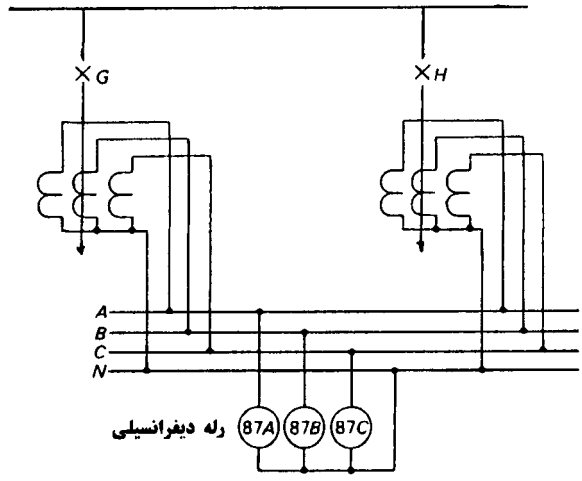
۲ـ۳ـ۷ـ روشهای حفاظت شینه‌ها در مقابل انواع خطاها

۱ـ۲ـ۳ـ۷ـ حفاظت شینه در مقابل خطای فاز – فاز

در شینه‌ها برای حفاظت در مقابل خطای فاز – فاز، از حفاظت تفاضلی، مطابق شکل (۱۸ـ۷) استفاده می‌شود [۲و۱].

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۱۸ـ۷): حفاظت تفاضلی شینه

مکانیزم عملکرد این سیستم حفاظت، همانند رله‌های تفاضلی سایر عناصر سیستم‌های قدرت نظیر ژنراتور و ترانسفورماتور توان است. در مورد این حفاظت قبلاً بطور کامل توضیح داده شده است. این حفاظت برای خطاهای فاز - فاز روی شینه عمل می‌کند و در صورتیکه خطاهایی خارج از شینه‌ها رخ دهد، رله عمل نمی‌نماید.

۲ـ۲ـ۳ـ۷ـ حفاظت شینه در برابر خطای وصل بدنهٔ کلید زن به زمین

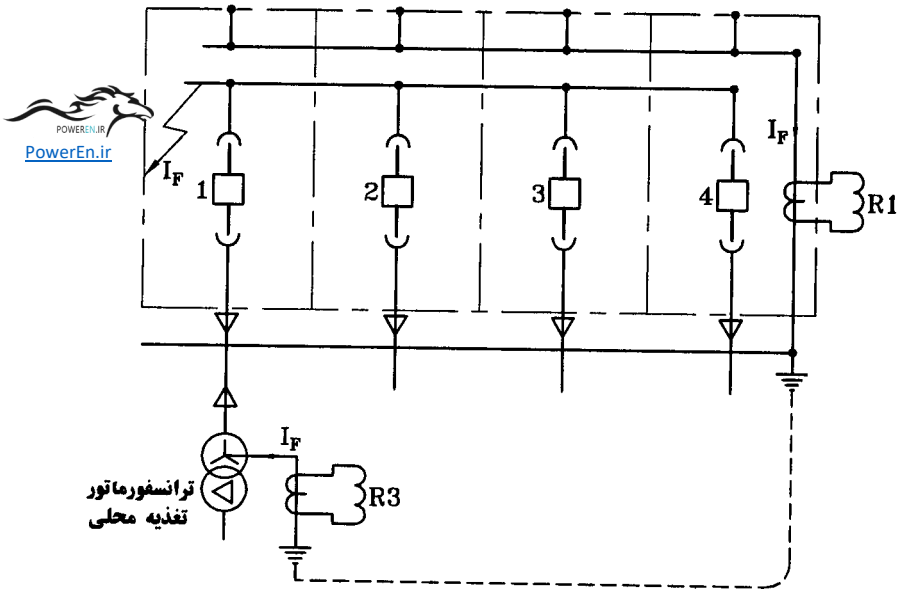
در شینه‌ها، برای این نوع خطا، حفاظت تفاضلی مطابق شکل (۱۹ـ۷) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶و۲و۱].

همانگونه که در شکل (۱۹ـ۷) دیده می‌شود اگر اتصال شینه به بدنه کلیدزن یعنی نقطهٔ F رخ دهد، هر دو رله R_1 و R_3 فعال می‌شوند و کنتاکتهای K_1 و K_2 که بصورت سری در مدار فرمان قطع قرار دارند، عمل قطع را فراهم می‌سازند. شکل (۲۰ـ۷) چگونگی مدار قطع در حفاظت اتصال شینه (فاز) را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود از هر دو کنتاکت بسته شده فرمان قطع صادر می‌گردد.

لازم است توجه شود که این نوع حفاظت نمی‌تواند خطاهای شینه به زمین را دربر گیرد چرا که در این صورت تنها از یکی از C.T جریان عبور می‌کند و کنتاکت K_1 بسته می‌شود لیکن کلید K_2 بسته نمی‌شود و فرمان قطع صادر نمی‌گردد.

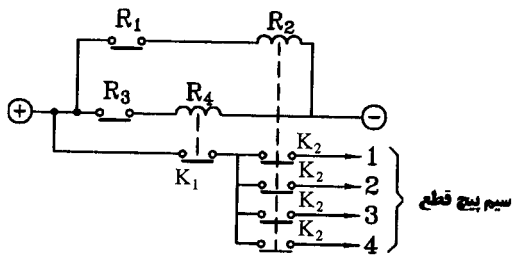
POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۱۹ـ۷): حفاظت اتصال شینه (فاز) به بدنه کلیدزن

این طرح وصل به شینه بدنه را تشخیص می‌دهد و برای اتصال شینه به زمین کاربرد ندارد.



شکل (۲۰ـ۷) چگونگی مدار قطع در حفاظت اتصال شینه (فاز)

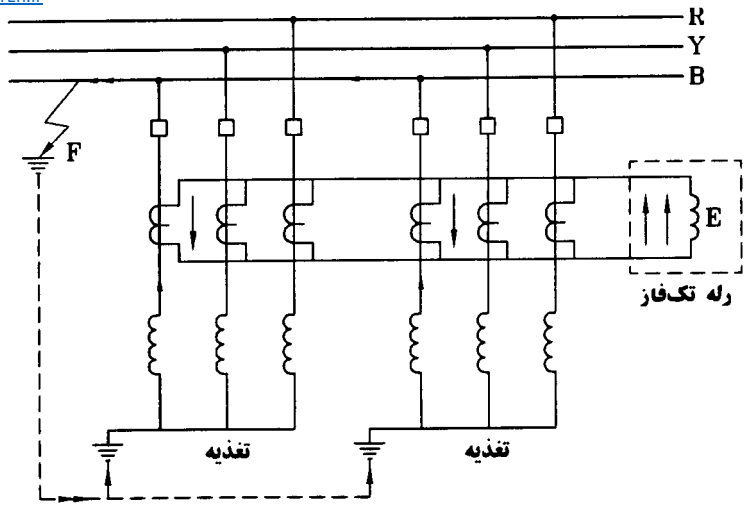
۴ـ۲ـ۳ـ۷ـ حفاظت شینه در برابر خطای اتصال به زمین

شکل (۲۱ـ۷) حفاظت تفاضلی مخصوص اتصال فاز به زمین را نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود این شینه توسط یک ترانسفورماتور زمین کننده با ترانسفورماتوری که صفر آن زمین شده نیز زمین شده است. با توجه به این فرض چنانچه اتصال فاز به زمین در نقطهٔ F رخ دهد جریانهای I'_1 و I'_2 و I'_3... از C.T فاز اتصال کوتاه شده، عبور می‌کند و جمع آنها... $I'=I'_1+I'_2+I'_3+$ سبب عملکرد رله می‌شود [۲و۱].

لازم به توضیح است که این حفاظت برای حفاظت خطاهای فاز – فاز به هیچوجه مناسب نیست،

زیرا این خطاها باعث ایجاد دو جریان مخالف در دو فاز هر فیدر شده و جمع برداری آنها در ثانویه ترانسفورماتورهای جریان صفر می‌شود و سبب می‌گردد رله عمل نکند.

PowerEn.ir



شکل (۲۱ـ۷): حفاظت تفاضلی مخصوص اتصال فاز به زمین

مسائل:

۱ - یک ژنراتور نقطه صفر زمین شده ستاره ۳۳kV، ۳۷/۵VA، ۳۰MW بوسیلهٔ جریان گردشی حفاظت شده است. مقادیر نامی C.Tها $\frac{۶۰۰}{۱}$ و تنظیم رله‌ها ۱۰٪ جریان نامی ۱A، یعنی ۰/۱ آمپر ۱ است.

الف) اگر مقاومت زمین کننده ژنراتور ۹۰٪ بر اساس مقادیر نامی ژنراتور باشد، پیدا کنید چه درصدی از سیم پیچی استاتور در مقابل خطای زمین حفاظت نشده است. ب) اگر نیاز به حفاظت ۹۰٪ سیم‌پیچ باشد، مقدار عددی مقاومت زمین کننده و همچنین درصد آن نسبت به مقادیر مشابه چقدر است؟

۲ - نقطهٔ صفر یک ژنراتور ۱۰۰۰۰V که بوسیله سیستم حفاظتی گردشی حفاظت گردیده بوسیله یک مقاومت ۱۰ اهمی زمین شده است. رله بگونه‌ای تنظیم شده است که وقتی جریانی خارج از تعادل ۱ آمپر (در سیم‌های پایلوت) وجود دارد، عمل می‌کند. C.Tهای روی سیم پیچ ژنراتور $\frac{۱۰۰۰۰}{۵}$ آمپری هستند. اولاً مقدار مینیمم مقاومت زمین که حفاظت ۹۰٪ هر فاز سیم‌پیچی را تأمین کند چقدر است؟

۳ - یک ترانسفورماتور ۱۳۲/۳۳ kV، yd۱، ۳۰MVA که نقطهٔ صفر آن مستقیماً زمین شده است، داریم. این ترانسفورماتور توسط یک سیستم جریان گردشی حفاظت شده و تغذیهٔ آن از طرف ۳۳

PowerEn.ir

کیلو ولت است. اگر جریان نامی اولیه طرف فشار قوی C.T (یعنی در طرف ۱۳۲kV)، ۱۵۰ آمپر باشد، اولاً نسبت تبدیل لازم C.T برای کاربرد با رله‌هایی که جریانشان ۱A آمپر است را محاسبه کنید. ثانیاً اگر یک جریان خطای ۱۰۰۰ آمپری در سر ترمینال سیم پیچی ۱۳۲kV (در محدوده ناحیهٔ حفاظتی) اتفاق افتد، جریانها را در هر قسمت سیم‌های پایلوت و در سیم پیچ‌های رله مشخص کنید.

۴ – اگر مقادیر و جوابهای مسئلهٔ ۷ داده شده باشند، و ترانسفورماتور دارای راکتانس نشتی ۱۰٪ بر اساس مقادیر نامی باشد و راکتانسهای مثبت و منفی منبع ۳۳kV نیز یکسان در نظر گرفته شوند، اولاً اگر اتصال کوتاه دو فاز در سر ترمینال ۱۳۲ کیلوولت (در محدودهٔ ناحیه حفاظتی) واقع شود، جریان خطای فاز – فاز را محاسبه کنید. ثانیاً مقدار جریانها را در سیم‌های پایلوت و رله‌ها تعیین کنید.

۵ – یک ترانسفورماتور DY_n که بدون مقاومت به زمین وصل شده است دارای مقادیر نامی ۵۰MVA و ۶۶/۳۳kV است. ترانسفورماتور توسط یک سیستم حفاظتی جریان گردشی حفاظت شده است. نسبت تبدیل C.T طرف فشار قوی و ضعیف، $\frac{۶۰۰}{۵}$ آمپر و $\frac{۱۲۰۰}{۲/۸۹}$ آمپر است. اگر تنظیم رله ۲۰٪ جریان نامی آنها (برای جریان نامی ۵ آمپر) باشد، برای هر یک از خطاهای سه فاز،فاز به فاز و فاز به زمین، (الف) در طرف ۳۳ کیلو ولت (ب) در وسط سیم پیچی ۳۳ کیلوولت و با فرض اینکه رله در این نقاط در آستانه شروع عمل باشد، جریان خطا را محاسبه کنید.

۶ – برای مقادیر مسئلهٔ ۲، درصد سیم پیچی طرف ۳۳ کیلوولت که در برابر خطاهای داخلی زمین حفاظت نشده‌اند را با فرض اینکه مقاومت زمین کننده دارای مقدار ۱۰۰٪ بر اساس مقادیر نامی ترانسفورماتور باشد وتغذیه‌ای نیز از طرف ۳۳ کیلوولت نباشد محاسبه کنید. بمنظور اصلاح سیستم حفاظتی، یک سیستم حفاظتی محدود شده زمین به سیم پیچی ۳۳ کیلوولت اضافه شده است یعنی سه C.T بطور موازی در خطوط ۳۳ کیلوولت و یک C.T در خط خنثی قرار گرفته‌اند؛ هر چهار C.T دارای نسبت تبدیل $\frac{۸۰۰}{۵}$ آمپر بوده، و بعنوان سیستم جریان گردشی با تنظیم ۲۰٪ جریان نامی (جریان نامی ۵A) بکار می‌روند. برآورد نمائید سیم پیچی ۳۳ کیلوولت که توسط سیم پیچ زمین حفاظت نمی‌شود، چقدر است؟

۷ – یک ترانسفورماتور ۲۵MVA، $\frac{۱۳۲}{۳۳}$KV، DY_n که بدون مقاومت زمین به زمین وصل شده، بوسیلهٔ یک سیستم حفاظتی جریان گردشی حفاظت شده است. نسبت تبدیل C.T در طرف ولتاژ پایین $\frac{۶۰۰}{۱}$ آمپر و رله‌ها دارای تنظیم ۴۰٪ مقادیر نامی در ۱ آمپر هستند. اگر اتصال نقطه صفر از طریق مقاومت واقعی اتصال به زمین (مقاومت خود زمین) برابر ۵ اهم باشد، برآورد کنید که چه درصدی از سیم پیچی H.V (فشار قوی) در مقابل خطاهای زمین حفاظت شده است. فرض بر این است که تغذیه‌ای از طرف ۱۳۲ کیلوولت وجود نداشته و فقط مقاومت زمین (طبیعی) جریان خطا را محدود می‌نماید.

POWEREN.IR

۸ - چهار C.T $\frac{۱۰۰۰}{۵}$ آمپر به عنوان یک سیستم حفاظتی زمین محدود شده[1] برای یک ترانسفورماتور با سیم پیچی ستاره متصل شده‌اند. امپدانس ثانویه هر C.T، $۲+j^{\circ}$ اهم است. مقاومت حلقه پایلوت که این C.Tها (وصل در نقطه صفر و دیگران) را به هم وصل می‌کند یک اهم است. رله‌ای که در مرکز حلقه پایلوت وصل شده است دارای جریان تنظیم ۲۰ میلی آمپر بوده و دارای یک مقاومت متغیر پایدار کننده است موقعی که این مقاومت از مدار رله خارج است ولتاژ دو سر رله ۱۵ ولت است. مقاومت خود رله را محاسبه کنید. اگر این سیستم حفاظتی برای اتصال کوتاه خارجی ۱۲/۵ کیلوآمپر پایدار باشد، ولتاژ تنظیم رله را برآورد نمایید (با فرض اینکه هیچ ضریب اطمینانی لازم نیست)؛ همچنین مقدار مقاومت پایدار کننده چقدر است؟ اگر با چنین تنظیمی، رله در نقطه شروع (آستانه حرکت) برای خطای زمین داخلی باشد و فقط از طرف اولیه ترانسفورماتور تغذیه صورت گرفته باشد، با فرض اینکه هر C.T فقط جریان تحریک ۶۰ میلی‌آمپر برای ولتاژ ثانویه ۱۵۶/۲ ولت را دارا باشد، مینیمم جریان خطا را به عنوان درصدی از جریان نامی اولیهٔ C.T محاسبه کنید.

۹ - اگر یک رله دیفرانسیل با سیم پیچی بایاس برای حفاظت یک ژنراتور بکار رود و جریان نامی اولیه ژنراتور ۱۰۰۰ آمپر و ترانسفورماتورهای جریان $۱۰۰۰^{A}/_{۱A}$ باشند و میزان بایاس رله ۰/۱ و تنظیم آن نیز نسبت به جریان نامی رله ۱۰٪، چه رابطه‌ای بین جریان عمل کننده و بازدارنده باشد تا رله در مرز عملکرد قرار گیرد. اگر جریان عمل کننده ۰/۱۵ آمپر باشد و خطا داخل ناحیه حفاظتی و جریان در یک سیم پیچی بایاس سه برابر دیگری بلحاظ دامنه جریان باشد. جریان‌ها در سیم پیچی‌های بایاس چقدر است؟

POWEREN.IR

1 Restricted Earth Fault

مراجع:

1.Electricity Council, "Power System Protection", London: Macdonald, vol.3, 1982.

PowerEn.ir

2.GEC Measurement, "Protective Relay Application Guide", The General Electric Company, of England, 1995.

3.C.A. Gross, "Power System Analysis", Prentice-Hall, 1979.

4.A.E.Guile, W.Paterson, "Electrical Power Systems", Edinburgh: Oliver & Boyd, vol.1, 1972.

5.M.E. L-Hawary, "Electrical Power Systems Design and Analysis", Prentice-Hall Company, 1983.

6.C.R.Mason, "The Art and Science of Protective Relaying", Wiley Eastern Limited, 1991.

POWEREN.IR

PowerEn.ir

POWEREN.IR

PowerEn.ir

فصل ۸

حفاظت شبکه‌های صنعتی

مقدمه

با پیچیده‌تر و گسترده‌تر شدن فرآیندهای تولید در واحدهای صنعتی، تقاضا و نیاز برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های قدرت نیز سیر صعودی داشته است. به همین ترتیب میزان خسارتی که به دلیل قطع تغذیه به سیستمهای صنعتی تحمیل می‌گردد نیز افزایش یافته است. این مسئله باعث شده که توجه زیادی به حفاظت و کنترل انرژی تحویلی به کارخانجات صورت پذیرد. از اینرو بسیاری از تکنیکها و روشهایی که در حفاظت ولتاژ بالای سیستمهای قدرت بکار گرفته می‌شوند، در ولتاژهای پایین‌تر در شبکه‌های صنعتی مورداستفاده قرار می‌گیرند. از طرف دیگر سیستمهای صنعتی دارای مسائل خاص خود هستند که باید به هریک جداگانه توجه شود و راه‌حلهای مناسب برای هریک از مشکلات و مسائل فوق بررسی گردد.

با ورود تکنیکهای اتوماسیون به کارخانجات، طبیعتاً این پدیدهٔ تکنولوژی روی تاسیسات و شبکه‌های قدرت نیز بی‌تأثیر نبوده و باعث بهبود قابلیت اطمینان و بهره‌وری این سیستمها شده است.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که وجود یک شبکه حفاظتی جهت آشکارسازی خطا و صدور فرمان قطع به کلیدها، امری بسیار ضروری است. چنین شبکه حفاظتی بااستفاده از عناصر جریان زیادی چون رله‌ها و فیوزها، در یک شبکه قدرت طراحی و نصب می‌گردد.

در این بخش برخی از ویژگی‌ها و مسائل مرتبط با شبکه‌های صنعتی و حفاظت آنها بررسی می‌شود.

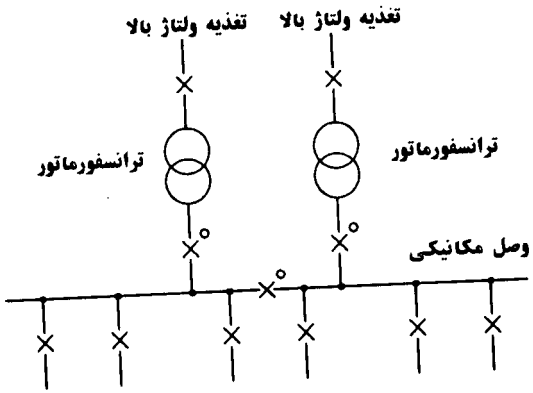
POWEREN.IR
PowerEn.ir

۱-۸- ویژگیهای شبکه‌های صنعتی

۱-۱-۸- آرایش باس‌بارها

آرایش باس بارها در یک کارخانه بزرگ مسئله‌ای مهم بوده و می‌تواند بسیار هم متنوع باشد. از اینرو در بسیاری از تاسیسات صنعتی همانطور که در شکل (۱-۸) نشان داده شده، از یک باس بار که بوسیلهٔ مدارشکنها به دو یا چند قسمت تقسیم می‌شود استفاده می‌گردد.

در یک شبکه متوسط صنعتی مشابه شکل (۲-۸)، جهت تغذیهٔ شبکه از ترانسفورماتورهای یکسان استفاده شده و بارهای مهم و خاص، جدا از شبکه و از بخش "سرویسهای ضروری"[1] تغذیه می‌گردند.



شکل (۱-۸): تغذیه از دو مسیر به یک باس بار

این کار باعث افزایش بهره‌وری و توانایی ژنراتورهای رزرو[2] می‌گردد. این ژنراتور معمولاً از نوع دیزل و توربو شارژ انتخاب می‌شود. در فرآیندهای صنعتی هنگامی که بخار یا گازهای زائد و دور ریختنی در دسترس باشند، می‌توان از آنها جهت قوهٔ محرک ژنراتور اضطراری استفاده کرد. معمولاً در مجتمع‌های صنعتی، ژنراتورها به صورت اتوماتیک راه‌اندازی شده و بار را در فاصله زمانی ۱۰ ثانیه تحویل می‌گیرند.

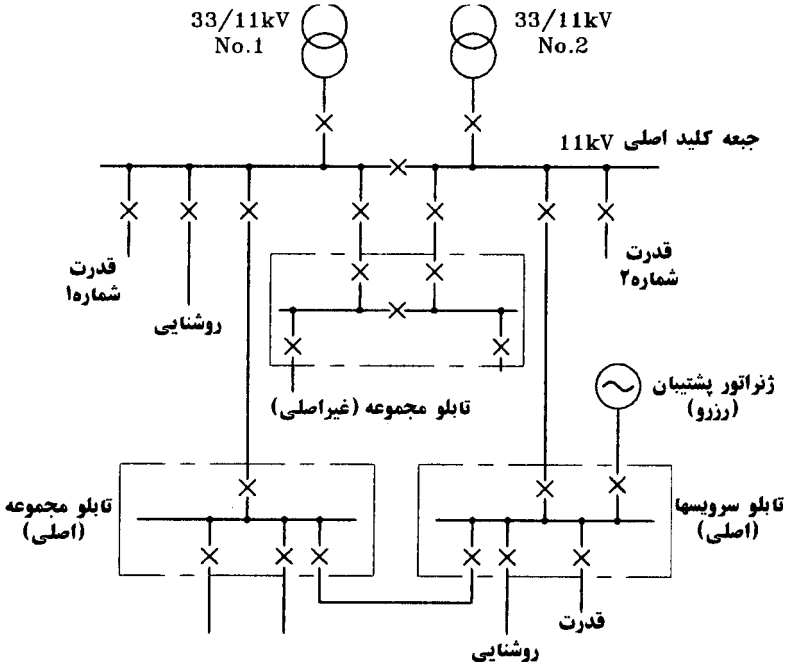
مزیت دیگر این سیستم، کمک به رگولاسیون، فیلترسازی و عدم قطع سرویس می‌باشد که برای مجتمع‌های صنعتی امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. در این حالت، بخش سرویسهای ضروری

POWEREN.IR

2- Stand By

مورداستفاده قرار گرفته و بار بخشهای ضروری شبکه مانند قسمتهای کنترل، کامپیوتر و ... را تأمین می‌نمایند. عناصر حفاظتی در ارتباط با کلیدزنها[1] کار می‌کنند. در یک شبکه صنعتی، فیدرها کل تاسیسات بوسیله مدارشکنهایی که به رله‌های اضافه بار و یا زمین متصل هستند حفاظت می‌شوند. به منظور بدست آوردن یک جداسازی مناسب در شبکه، باید در هر زمان فقط قسمتی از شبکه که دچار خطا شده از شبکه جداگردد و بقیه قسمتها سالم بمانند. این امر از قطع سرویس بخشهای دیگر جلوگیری می‌نماید.

POWEREN.IR
PowerEn.ir



شکل (۲-۸): روش معمول تغذیه یک شبکه صنعتی

۲-۱-۸- فیوزهای HRC[2]

یکی از عناصر حفاظتی که به فراوانی در شبکه‌های صنعتی از آنها استفاده شده و عملکرد آنها نزدیکی خاصی به این گونه شبکه‌ها دارد، فیوزها هستند. از اینرو لازم است نحوهٔ عمل و چگونگی کاربرد این وسایل درنظر گرفته شوند. یک فیوز HRC از یک بدنه سرامیکی که در داخل آن المان قابل سوختنی مانند نقره یا آلیاژهای آن قرار دارد، تشکیل شده است. این المان به قسمتهای انتهائی متصل است. زمان لازم برای ذوب یک فیوز به جریان عبوری از آن بستگی دارد. در اثر عبور جریان خطا، المان فوق نخست ذوب شده و سپس بخار می‌شود. این بخار با مواد مخصوص داخل محفظه

POWEREN.IR

1- Switchear
2- High Rupting Capacity

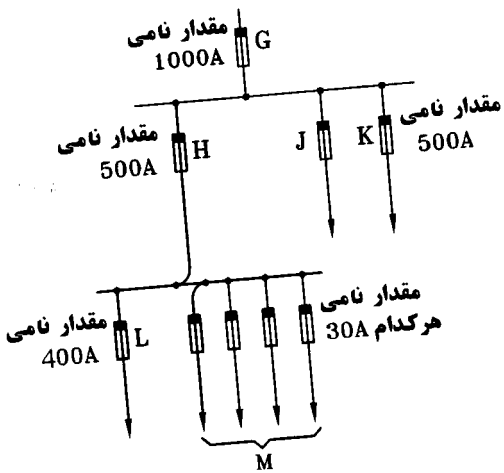
ترکیب می‌گردد تا قوس بوجود آمده سریعاً خاموش گردد.

در فصل چهارم درخصوص عملکرد، مشخصه قطع و انواع این فیوزها مفصلاً توضیح داده شده است.

POWEREN.IR

۳-۱-۸- چگونگی استفاده از فیوزها در شبکه‌های صنعتی

شکل (۳-۸) یک شبکه صنعتی را که با فیوز حفاظت شده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، فیوزهای K ، J و H با فیوز پشتیبان خود، که فیوز G می‌باشد جداسازی مناسبی را فراهم کرده‌اند. باتوجه به شرط دو برابر بودن مقدار نامی فیوز پشتیبان، فیوز L با فیوز پشتیبان خود که فیوز ۵۰۰ آمپری H در شکل (۳-۸) است، به خوبی هماهنگ نبوده و یا به عبارت دیگر، جداسازی مناسبی بدست نمی‌آید.



شکل (۳-۸): یک شبکه صنعتی نمونه که با فیوز حفاظت می‌شود.

یک راه‌حل این است که بار مربوط به فیوز L را از طریق باس بار متصل به فیوزهای K و J و H تغذیه کنیم. این راه‌حل در شکل (۴-۸) نشان داده شده است.

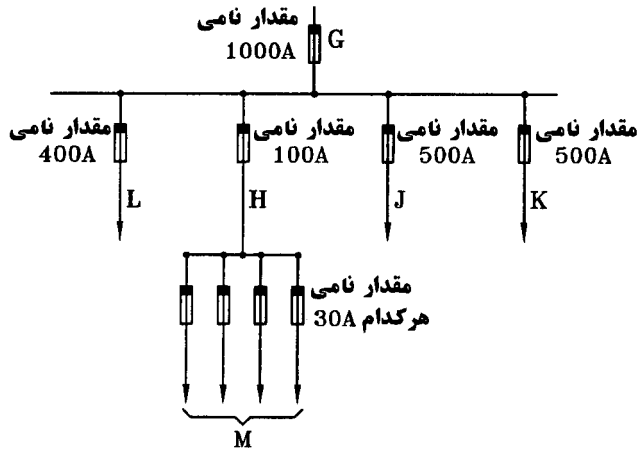
در مواردی که از کابلهای PVC استفاده شده است، در انتخاب فیوزها باید گرمای قابل تحمل این کابلها نیز درنظر گرفته شود، زیرا کابلهای PVC گرمای قابل تحمل کمی دارند.[۱]

در استفاده از کابلهای PVC، آنها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که در بار نامی کابل، تقریباً به حد مقدار نامی گرمای قابل تحمل خود برسند. در این صورت لازم است که حتی‌المقدور جریان خطا سریعاً قطع گردد. بنابراین در حفاظت با فیوز لازم می‌آید که ضریب فیوزی[۲] عنصر مورداستفاده از ۱/۵ بیشتر نباشد.

POWEREN.IR

2- Fusing Factor

PowerEn.ir



شکل (۴-۸): جداسازی صحیح

$$\text{ضریب فیوز} = \frac{\text{کمترین جریانی که فیوز قطع می‌کند}}{\text{جریان بار}} \qquad (۸-۱)$$

فیوزهای HRC، استاندارد نوع T اینگونه حفاظت را به خوبی فراهم می‌کنند.

در بعضی موارد در کاربردهای صنعتی، جداسازی، یک فاکتور ثانویه می‌باشد. در شبکه نشان داده شده در شکل (۵-۸) بار یک شاخه توسط کنتاکتوری کنترل شده که به سبب مسائل اقتصادی، نوع و اندازه آن به گونه‌ای است که ظرفیت تحمل جریان خطای آن کم می‌باشد.

یک فیوز ۶۳۰ آمپری به عنوان فیوز اولیه قرار داده شده تا یک حفاظت پشتیبان را برای کنتاکتور فراهم آورد؛ در صورتی که فیوز پشتیبان ۸۰۰ آمپری که برای حفاظت محدودهٔ باس بار در نظر گرفته شده، حفاظت مناسبی را برای کنتاکتور فراهم نمی‌آورد. جداسازی بین این دو فیوز تنها در جریانهای خطای کم حاصل می‌شود. به هنگام طراحی، این مورد را در حالتی باید درنظر گرفت که حفاظت پشتیبان به جداسازی ترجیح داده شود.

قابلیت‌های فیوزهای HRC تحت تأثیر درجه حرارتهای محیطی زیاد، می‌توانند متأثر شود. بسیاری از فیوزها جهت استفاده در دمای محیطی ۳۵ درجه سانتیگراد مناسب هستند، ولی برای بعضی از مقادیر نامی فیوزها، درنظر گرفتن افت مشخصه[1] فیوز در درجه حرارتهای محیطی بالا لازم است. از اینرو تولیدکنندگان اینگونه فیوزها در کاتالوگهای خود مقادیر افت مشخصات تولیدات خود را نیز وارد می‌کنند. همچنین در کاتالوگهایی که توسط کارخانجات سازنده ارائه میگردد، نیز اطلاعاتی در رابطه با فیوزهایی که جهت حفاظت موتورها از آنها استفاده می‌شود منظور می‌گردد. در اینگونه

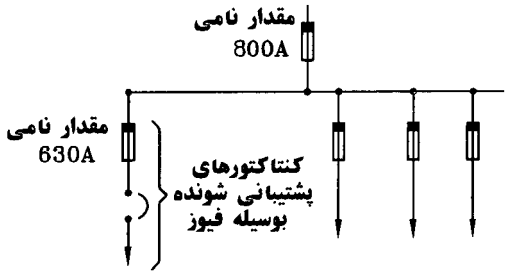
POWEREN.IR

1- Derating

کاربردهای فیوز مربوطه باید جریان اتصال کوتاه را قطع و در مقابل جریان راه‌اندازی مقاوم باشد. به

POWEREN
PowerEn.ir

همین ترتیب این فیوز باید در مقابل هر جریان هجومی در سیستم مقاوم بوده و در جریان بار کامل نیز عمل ننماید. در کاتالوگهای تولیدکنندگان این فیوزها، جداول سفارشی جهت استفاده فیوزها به صورت مستقیم در خط و یا حفاظت موتورها، جداگانه آورده می‌شود.



شکل (۵-۸): مثالی از حفاظت پشتیبان

یکی دیگر از موارد مهم استفادهٔ فیوزها در شبکه‌های صنعتی، حفاظت عناصر نیمه هادی است که به وفور در صنایع از آنها استفاده می‌شود. دیودها و تریستورهای سیلیکونی در یکسوکننده‌ها و اینورترها و سایر بخشهای کنترل تجهیزات بکار گرفته می‌شوند. کاربرد نیمه هادی‌ها به علت راندمان خوب و اقتصادی بودن آنها است. این عناصر ابعاد فیزیکی کوچکی داشته و در مقابل اضافه بار، تحمل کمی دارند. از اینرو باید در مقابل جریانهای خطا محافظت شده و سریعاً این جریانها قطع گردند. فیوزهای تندسوز جهت اینگونه موارد مناسب هستند.

مشخصات فیوزها به همراه گونه‌های مختلف آنها تقریباً به صورت دقیق موجود است تا با دانستن محل استفاده این فیوزها، فیوز مناسب انتخاب گردد. فیوزهای HRC در محل، نصب شده و نیاز به هیچگونه تعمیر، نگهداری و یا کالیبراسیون ندارند. در واقع تغییرناپذیری مشخصات این فیوزها، یک فاکتور مهم در طراحی‌ها و درنظرگیری جداسازی می‌باشد. عدم جداسازی در نتیجه انتخاب غلط فیوزها، قطع ناخواستهٔ سرویس قسمتهای دیگر را نتیجه می‌دهد. انتخاب صحیح فیوزهای HRC حفاظت اصلی و پشتیبان، بعلاوه طراحی و ساختمان مناسب فیوز، باعث می‌شود که کابلهای رابط در اثر بوجود آمدن خطا صدمه نبینند.

POWEREN.IR

فیوزهای HRC عنصر مهمی در حفاظت شبکه‌های صنعتی بوده که معمولاً در داخل جعبه فیوزها یا به صورت جزئی از یک «کلید - فیوز» قرار دارند.

از دیگر عناصر مهم حفاظت جریان زیاد در شبکه‌های صنعتی، رله‌های جریان زیاد و مدارشکنها هستند. جهت توضیحات کامل‌تر به فصل دوّم رجوع کنید.

۴-۱-۸- مشارکت[1] موتورهای القایی در جریانهای خطا

در یک شبکه صنعتی که دارای مقادیری بارهای موتوری است، در صورت وقوع خطا در شبکه، جریانهایی از طرف موتورها به محل خطا در زمان کوتاهی تزریق می‌شود. این پدیده را مشارکت موتورها در اتصال کوتاه گویند.

PowerEn.ir

مشارکت موتورها معمولاً به علت فقدان اطلاعات فنی و مسائل دیگر درنظر گرفته نمی‌شود. ولی در صنایع بزرگی که دارای موتورهایی با قدرت زیاد هستند، معمولاً لازم است که مقدار و زمان این مشارکت درنظر گرفته شود. و در نتیجه برآورد دقیقی از جریانهای داخل خطا حاصل شود تا در نتیجه این امر:

الف) جداسازی بین عناصر حفاظتی شبکه به خوبی فراهم آید.

ب) محاسبه و برآورد دقیقی از میزان قدرت قطع موردنیاز مدارشکنها حاصل شود.

هنگامی که یک موتور القایی در حال کار باشد، فلوی مغناطیسی تولید شده توسط استاتور با سرعت سنکرون در حال چرخش بوده و متقابلاً روی روتور تأثیر می‌گذارد. حال اگر ولتاژ اعمالی به استاتور، به هر علتی، به شدت و ناگهانی کاهش یابد، فلوی داخل موتور سریعاً نمی‌تواند تغییر کند و اینرسی مکانیکی ماشین نیز مانع از کاهش سریع سرعت ماشین در خلال چند سیکل اول وقوع اتصال کوتاه می‌شود. در این موقعیت، فلوی مغناطیسی موجود در روتور، قبل و به هنگام وقوع خطا در استاتور، ولتاژی برابر با emf القایی[2] آن، تولید می‌کند. میرایی و کاهش این فلو توسط نسبت دو اندوکتانس مربوط به فلو و مقاومت مسیر جریان، قابل کنترل می‌باشد. بنابراین ملاحظه می‌شود که در این حالت، موتور القایی همانند یک ژنراتور عمل کرده و جریان تزریقی به نقطه اتصال کوتاه، مشابه با خروجی یک ژنراتور اتصال کوتاه شده، دارای مؤلفه متناوب مستقیم خواهد بود. جریان تزریقی نیز به صورت نمایی کاهش خواهد یافت.

معادلات مربوطه از قرار زیر هستند:

$$i_{ac} = I_s \cdot e^{\frac{-t}{T'_d}} \quad , \quad i_{dc} = \sqrt{2} I_s \cdot e^{\frac{-t}{T_a}} \qquad (۸-۲)$$

I_s :جریان مستقیم لحظه‌ای استاتور به هنگام راه‌اندازی.

T'_d :ثابت زمانی AC.

T_a :ثابت زمانی DC.

ثابت زمانی‌های فوق از رابطه زیر بدست می آیند:

POWEREN.IR

1- Contribution

2.Electromegnetic Forc

$$T'_d = \frac{X_{st}}{2f \cdot R_2(S=o)} \quad \text{ثانیه} \qquad (۸-۳)$$

POWEREN.IR
PowerEn.ir

$$T_a = \frac{X_{st}}{2f \cdot R_1} \quad \text{ثانیه} \qquad (۸-۴)$$

X_{st} :راکتانس در ولتاژ نامی و توقف موتور.

$R_2(S=o)$:مقاومت مدار روتور در حالت $S = o$ (اهم).

R_1 :مقاومت مدار استاتور (اهم).

f :فرکانس.

با آزمایشهایی که برروی بارهای موتوری در صنایع صورت گرفته، مقادیر معمول ثابت زمانی‌های T'_d و T_a برای موتورهای ۴۱۵ ولت مطابق جدول (۱-۸) هستند [۵]:

جدول (۱-۸): مقادیر معمول ثابت زمانهای Ta , $T'a$ برای موتورهای ۴۱۵ ولت

H_p	T'_d	T_a
۱۰	۲۰ ms	۱۰ ms
۱۰۰	۵۰ ms	۴۰ ms

شکل (۶-۸) چگونگی مشارکت موتورهای القایی تک‌فاز و سه‌فاز را در اتصال کوتاه نشان می‌دهد. با بررسی شکل (۶-۸) ملاحظه می‌شود که جریان تولید شده، تحت خطای یک فاز، معمولاً بیشتر از جریانهای تولید شده، تحت خطای سه‌فاز می‌باشد.

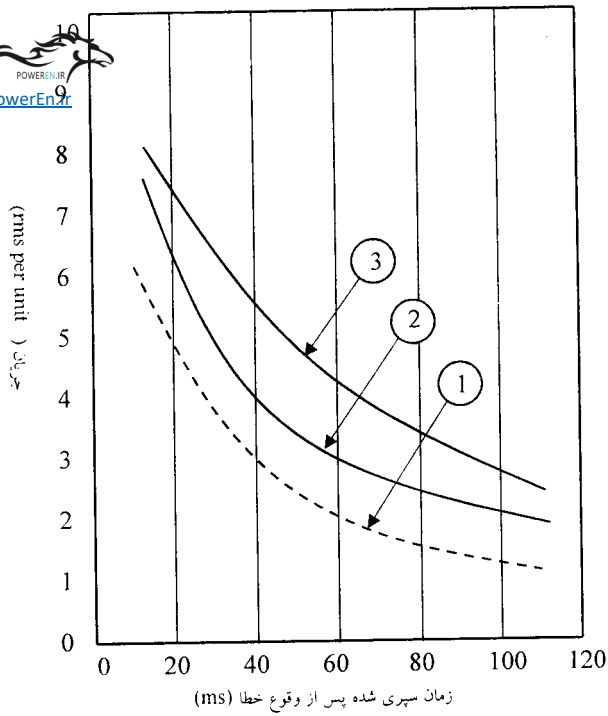
در لحظه وقوع خطا و تبدیل حالت موتوری به حالت ژنراتوری، ولتاژ emf تولید شده، همچون حالت راه‌اندازی موتور، تنها، راکتانس گذرای موتور را سر راه خود می‌بیند. از اینرو جریان تزریقی موتور در لحظه وقوع خطا، با تقریب بسیار خوبی برابر جریان راه‌اندازی موتور می‌باشد. برای موتورهای ۴۱۵ ولت، با تقریب بسیار خوبی، جریان تزریقی ۶/۲۵ برابر جریان بار کامل می‌باشد. در یک شبکه کوچک نیز تمامی موتورها را می‌توان به صورت یک موتور واحد درنظر گرفت، بدین ترتیب در یک شبکه صنعتی بزرگ می‌توان چندین بار موتوری معادل را در نقاط مختلف شبکه منظور داشت.

برای این منظور کافی است توان موتور معادل را برابر مجموع توانهای نامی موتورهای مجزا و امپدانس گذاری آنرا نیز حاصل موازی شدن امپدانسهای گذرای موتورهای واقعی قرار داد.

فاکتور مهم دیگر، سرعت موتور است. آزمایشهای انجام شده، نشان میدهد که موتورهایی که کمتر از ۶ قطب دارند، به زمان زیادتری جهت صفر شدن جریان تزریقی نیاز دارند و یا به عبارت دیگر موتورهای با قطب کمتر، ثابت زمانی بزرگتری دارند. معمولاً مشارکت موتورها در اتصال کوتاه، برای

موتورهای بزرگ و بارهای موتوری، در ولتاژهای ۳/۳kV و بالاتر صورت می‌گیرد.

PowerEn.ir



شکل (۶-۸): مشارکت موتورهای القایی در جریان اتصال کوتاه

شکل (۷-۸) مقادیر جریانهای اتصال کوتاه نامتقارن تحت خطای تک‌فاز را برای موتورهای ۲ و ۴ قطبی و بیشتر در فواصل زمانی مختلف بعد از بروز خطا، نشان داده و ارزیابی مناسبی از جریانهای تزریقی موتورهای مختلف تحت شرایط متفاوت را فراهم می‌سازد.

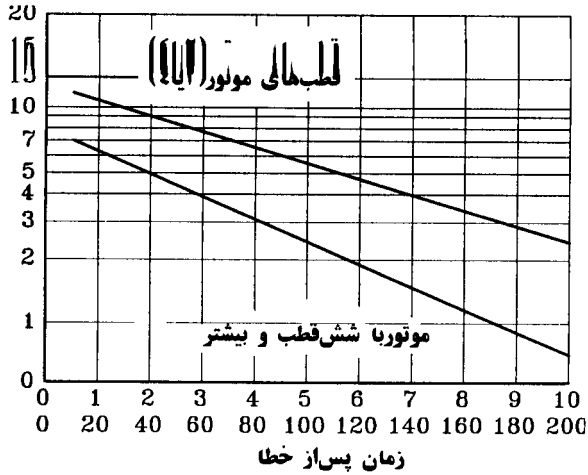
۵-۱-۸- سیستمهای متغیر خودکار[1]

از موتورهای القایی به وفور و گاه جهت حرکت و راندن بارهای حساس و مهم در صنعت استفاده می‌شود. در بعضی از کاربردهای صنعتی مانند پمپاژ مایع یا گاز، ضروری است که درصورت قطع تغذیه، سریعاً قدرت موردنیاز موتور از مسیر دیگری تأمین گردد. یک تغییر مسیر سریع باعث شتاب‌گیری مجدد موتور شده و کاهش بوجود آمده در سرعت انتقال گاز یا مایع مربوطه، رفع می‌گردد. تغییر مسیر تغذیه باید به سرعت صورت پذیرد تا از ناپایداری و ایست کامل موتور و صدمه دیدن آن جلوگیری به عمل آید.

POWEREN.IR

1- Automatic Changeover System

PowerEn.ir



شکل (۷-۸): جریان مشارکتی موتورها باتوجه به تعداد قطب آنها

هنگامی که تغذیه روی باس بار حاوی تعدادی بار موتوری، قطع گردد، سرعت تمام موتورهای القایی متصل به باس بار فوق کاهش یافته و فلوی مغناطیسی موجود در روتور، ولتاژی در استاتور القا می‌کند که به صورت نمائی کاهش می‌یابد. دامنه این ولتاژ و فاز آن متناسب با ولتاژ تغذیه در لحظه قبل از وقوع خطا بوده و تابعی از زمان و سرعت ماشین است. جابجایی فاز[1] بین ولتاژ داخلی موتور و ولتاژ تغذیه می‌تواند تا ۱۸۰ درجه نیز برسد. حال اگر تحت این شرایط تغذیه سیستم از مسیر سالم دیگری به موتور متصل گردد، جریان هجومی بسیار زیادی از موتور عبور کرده که می‌تواند صدمه دیدن یا سوختن موتور را به دنبال داشته باشد. از اینرو در هنگام اتصال مجدد تغذیه، باید به نکتهٔ فوق توجه داشت.

اگر تعدادی موتور با مشخصات و مقادیر یکسان به یک باس بار متصل باشند، هنگام قطع تغذیه، سرعت این موتورها با شتاب منفی کاهش یافته و هیچ گونه تبادل انرژی مکانیکی و یا الکتریکی بین آنها صورت نمی‌گیرد. ولی اگر تعدادی موتور با مشخصات و مقادیر نامی متفاوت به یک باس بار متصل باشند، سرعت موتوری که بزرگتر از بقیه موتورهاست و اینرسی مکانیکی بزرگتری نیز دارد، با شتابی کمتر از بقیه موتورها کاهش می‌یابد و مادام که فلوی روتور مقدار قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، به موتورهای کوچکتر، انرژی اعمال می‌شود. نتیجتاً کلیه موتورها به صورت سنکرون با هم قرار می‌گیرند. این پدیده ناشی از انتقال انرژی از موتور بزرگتر به موتورهای کوچکتر است. ولتاژ تولید شده توسط موتورهای فوق، تقریباً یکسان کاهش می‌یابد.

بطور کلی از دو روش جهت انتقال اتوماتیک[2] باس بارها استفاده می‌شود:

الف) روش انتقال هم فاز

1- Phase Displacement

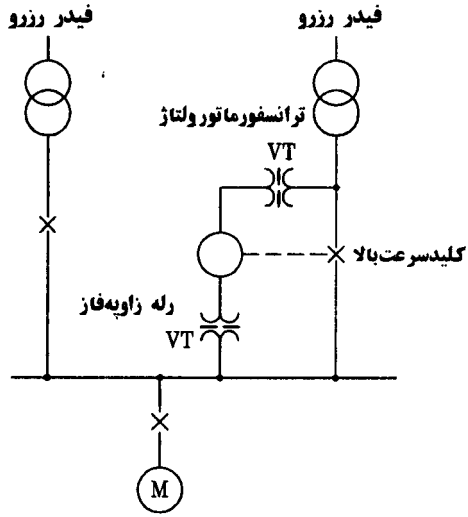
2- Automatic Transfer

ب) روش ولتاژ باقی مانده[1]

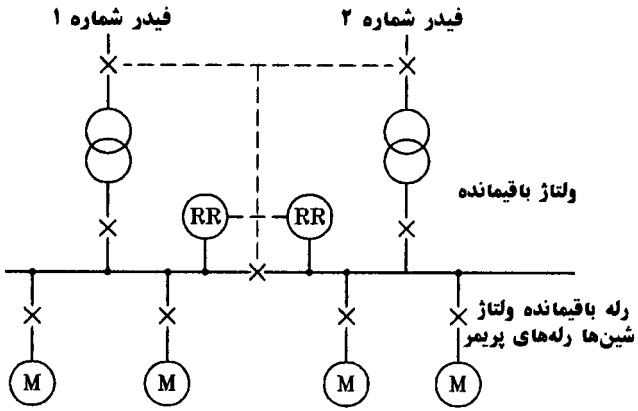
شکل (۸-۸) انتقال اتوماتیک باس را به دو روش فوق نشان می‌دهد.

در شکل (الف - ۸ - ۸) دو فیدر از یک منبع تغذیه استفاده می‌کنند؛ این دو فیدر، اصلی و فیدر

PowerEn.ir



(الف)



(ب)

الف) روش انتقال هم‌فاز ب) روش ولتاژ باقی‌مانده

شکل (۸-۸): شبکه‌ای با انتقال اتوماتیک

POWEREN.IR

1- Residual Voltage system

اضطراری هستند. یک رلهٔ حساس به زاویهٔ فاز نیز قرار داده شده تا زاویه ولتاژ بین فیدر اضطراری و ولتاژ باس بار موتور را مشاهده نماید. هنگامی که دو ولتاژ فوق تقریباً هم‌فاز باشند، کلید قرار داده شده که دارای سرعت بالای وصل است، سریعاً فیدر اضطراری را به باس موتوری متصل می‌نماید. این روش منحصر به بارها یا موتورها سنگینی بوده که مشخصه کاهشی آنها به هنگام قطع فیدر اصلی قابل پیش‌بینی باشد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

شکل (ب –۸–۸) روش ولتاژ باقی‌مانده را نشان می‌دهد که برای مجتمع‌های پتروشیمی مناسب بوده و به فراوانی از آن استفاده میشود. در این روش از دو فیدر استفاده شده و تغذیه از طریق دو باس بار توسط یک کلید از نوع باز[1] اعمال می‌گردد. در هر قسمت، باس بار توسط یک رله حساس به کاهش ولتاژ باقی مانده ردگیری می‌شود. در هرلحظه قطع تغذیه یکی از فیدرها محتمل است؛ در این صورت، کلید روی باس بار مادامی که ولتاژ تولید شده توسط موتورهای قسمت دیگر باس بار به میزان قابل قبولی نرسد، مجاز به وصل شدن نبوده و قطع می‌ماند. این حد مجاز، بسته به مشخصات شبکه بین ۲۵ تا ۴۰ درصد متغیر می‌باشد.

انتخاب این حد ولتاژ، که وصل شدن کلید در آن صورت می‌گیرد، روی جریان لازم جهت شتاب‌گیری مجدد موتورها تأثیر می‌گذارد. برای مثال اگر حد ۲۵ درصد ولتاژ نامی انتخاب شود، جریان هجومی‌ای حدود ۱۲۵ درصد جریان راه‌اندازی در ولتاژ نامی از موتور عبور می‌کند. از اینرو ضروری است که دو فیدر به گونه‌ای طراحی شوند که هریک به تنهایی توانایی حمل جریان هر دو بخش باس بار را در شرایط عادی کارکرد و همچنین جریانهای اضافی ناشی از شتاب‌گیری مجدد موتورها را داشته باشند.

هنگامی که سرعت یک موتور القایی کاهش می‌یابد، نه تنها دامنه ولتاژ داخلی آن، بلکه فرکانس آن نیز کاهش می‌یابد. بنابراین ضروری است که رلهٔ حساس به کاهش ولتاژ باقی مانده که در اینجا بکاررفته، مشخصه مستقلی از فرکانس داشته باشد. این امر در رله‌هایی که دارای یکسوکننده داخلی هستند، فراهم شده است. یک نمونه این رله‌ها، رلهٔ DBA9 ساخت کارخانهٔ GEC می‌باشد [۵].

۶-۱-۸- حفاظت از ولتاژ و توالی فازها

از رله‌های ولتاژی به فراوانی در اکثر شبکه‌های صنعتی استفاده می‌شود. در بعضی موارد رله‌های فوق از نوع رله‌های حساس به اضافه ولتاژ بوده ولی در اکثر موارد مخصوصاً در شبکه‌هایی که بار موتوری زیادی دارند، از رله‌های حساس به افت ولتاژ استفاده می‌شود.

به علت وجود بار مکانیکی روی یک موتور القایی و نیاز به توان راکتیو، جهت راندن آن، با کاهش

POWEREN.IR

1- Normally Open

POWEREN.IR
Poweren.ir

ولتاژ تغذیه، جریان کشیده شده از تغذیه، افزایش می‌یابد. با قرار دادن یک حفاظت در مقابل کاهش ولتاژ، به هنگام بروز پدیدهٔ فوق، قبل از آنکه عبور جریان اضافی فوق باعث صدمه رساندن به موتور یا گرم شدن زیاد از حد آن شود، حفاظت فوق، تغذیه را قطع می‌نماید. اگر یک موتور تحت شرایط کاهش ولتاژ تغذیه راه‌اندازی شود، زمان راه‌اندازی ماشین افزایش یافته و از حد مجاز تجاوز می‌نماید. از اینرو از رله‌های حساس به کاهش ولتاژ به عنوان جزئی از مدارهای حفاظتی استفاده می‌شود تا از راه‌اندازی موتور در ولتاژ تغذیه نامناسب و کم جلوگیری گردد. برای موتورهای کوچک، رلهٔ حساس به کاهش ولتاژ چیزی غیر از یک کنتاکتور معمولی نیست زیرا کنتاکتورها، معمولاً تا ۷۵ درصد ولتاژ نامی خود وصل باقی مانده و در کمتر از آن قطع شده و از اینرو حفاظت مناسبی را در مقابل افت ولتاژ فراهم می‌آورند.

از رله‌های حساس به کاهش ولتاژ، گاه به اشتباه به عنوان عنصر حساس به تک‌فازشدگی استفاده می‌شود. این نحوه استفاده از رله‌های فوق فقط در مواردی صحیح است که تنها بار مقاومتی داشته و بار موتوری نداشته باشیم. در صورت وجود بار موتوری، ولتاژ در فاز قطع شده تا حدی بین ۶۰ تا ۹۰ درصد مقدار نامی خود افزایش یافته و مشخص است که در این حالت، آشکارسازی حالت قطع یک فاز، با اندازه‌گیری ولتاژ فاز مربوطه، روشی غیرقابل اطمینان خواهد بود.

در بعضی موارد، هنگام استفاده از رله‌های حفاظت ولتاژ، مقتضی است که از رله‌های زمانی[1] جهت پرهیز از عملکرد نابجای رله در صورت بروز اغتشاشات گذرا، استفاده شود.

در بیشتر سیستمها، مخصوصاً آنهایی که دارای بار موتوری هستند، گونه‌ای از حفاظت به منظور آشکار نمودن تغییر توالی فازها، قرار داده می‌شود. حفاظت فوق، مشابه با حفاظت در مقابل قطع یک فاز، با اندازه‌گیری مؤلفه‌های توالی منفی عمل می‌کند. از اینرو اگر رله‌ای جهت حفاظت در مقابل یک فاز شدن یا قطع یک فاز طراحی شود، و مکانیزم عمل آن بر پایه اندازه‌گیری مؤلفه‌های منفی ولتاژ باشد، این رله در مقابل تغییر آرایش فازها نیز حفاظت لازم را فراهم می‌آورد.

اگر چنین رله‌ای در دسترس نباشد، باید از رله‌هایی که مخصوصاً به منظور حفاظت در مقابل چرخش فاز طراحی و ساخته شده‌اند استفاده نمود. جهت بررسی حفاظت کامل موتورها به بخش (۸-۵-۱) مراجعه شود.

۸-۱-۷- حفاظت فیدر

در بعضی از شبکه‌های صنعتی از فیدرهای کابلی جهت تغذیه شبکه استفاده می‌شود. به عنوان مثال این فیدرها می‌توانند بین کلید فشار قوی[2] و ترانسفورماتور یا بین پست کارخانه تا محل کارخانه یا محل کنترل قرار گیرند.

POWEREN.IR

1- Time Relay
2- High Voltage Circuit Breaker

POWEREN.IR
PowerEn.ir

فیدرهای فوق معمولاً بوسیله نوعی حفاظت واحد، محافظت می‌شوند. حفاظت واحد بهترین نوع حفاظت از نظر حساسیت و قابلیت اطمینان است و از اینرو برای شبکه‌های صنعتی بسیار مناسب می‌باشد.

همانطور که در فصل هفتم گفته شد، حفاظت تفاضلی فیدر یا سیم پایلوت[1]، گونه‌ای از این نوع حفاظتها می‌باشد. در این روش از دو رله در دو طرف انتهای فیدر استفاده می‌شود. اطلاعات از طریق کابلی سبک‌تر و نازکتر از کابلهای تغذیه، انتقال می‌یابد. این کابل معمولاً به قطر ۲/۵ میلیمتر بوده و پایلوت نامیده می‌شود.

۸-۱-۸- استفاده از موتورهای سنکرون

از موتورهای سنکرون معمولاً در کاربردهای صنعتی برای مقاصد خاصی چون کمپرسورها، پمپ‌ها و یا هرجا که سرعت ثابت یا تصحیح توان مورد نیاز است، استفاده می‌گردد. تصحیح ضریب توان با کنترل جریان تحریک صورت گرفته و در نتیجه در یک شبکه قدرت، کنترلی متغیر و قابل اندازه‌گیری روی میزان توان راکتیو تولیدی و تصحیح ضریب توان اعمال می‌شود.

معمولاً موتورهای سنکرون از نوع موتور با قطب برجسته بوده و جریان تحریک توسط یک مولد جریان مستقیم مستقر روی شفت موتور و یا توسط مدارات تریستوری تأمین می‌گردد.

در بعضی موارد، هنگامی که گشتاور راه‌اندازی زیادی برای یک موتور سنکرون مدنظر باشد، آنرا به روشهای معمول راه‌اندازی موتورهای آسنکرون راه‌اندازی می‌نمایند. به عنوان مثال با قرار دادن مقاومتهای راه‌انداز، موتور، راه‌اندازی شده و با افزایش سرعت موتور، مقاومتها به تدریج خارج می‌شوند؛ در حوالی سرعت سنکرون، مقاومتها تماماً جدا شده و تغذیه ولتاژ سیم اعمال می‌گردد تا موتور به دور سنکرون خود برسد. این گونه موتورها به نام "موتورهای القایی سنکرون"[2] شناخته می‌شوند.

در موتورهای سنکرون قطب برجسته به دلیل وجود اندوکتانس تحریک روی روتور، اضافه ولتاژهای خیلی زیادی به هنگام قطع تحریک بوجود می‌آید. برای پرهیز از این مسئله، مقاومتی بنام "مقاومت دشارژ میدان" با استفاده از کنتاکتهای مدارشکن که در حالت عادی بسته‌اند[3]، قبل از قطع تحریک، در دو سر مدار تحریک قرار داده می‌شود.

این گونه موتورها مانند موتورهای آسنکرون، توسط شبکه‌های قفس سنجابی قرار داده شده در قطب‌های روی روتور، راه‌اندازی می‌شوند. هنگامی که موتور به ماکزیمم دور خود (تقریباً نزدیک دور

1- Polot wire
2- Synchronous Induction Motors
3- Normally Closed

سنکرون) برسد باید تحریک DC متصل گردد تا موتور در سرعت سنکرون قرار گیرد. معمولاً در اتصال جریان تحریک، مشکلاتی در عمل به وجود می‌آید؛ خصوصاً اگر ماشین در اثر اعمال گشتاور بار کامل تمایل به خروج از سنکرونیزم داشته باشد این مشکلات حادتر می‌شوند.

PowerEn.ir

روش کلی جهت اعمال تحریک این است که در این لحظه، فرکانس لغزش در کمترین مقدار خود و جریان لغزشی القایی در روتور از نقطه صفر خود عبور کرده و با شیب مثبت در حال افزایش باشد.

رله‌های خاصی جهت کاربردهایی در زمینهٔ تحریک ماشین‌های سنکرون ساخته شده است. معمولاً در این رله‌ها فرکانس لغزشی که باید آشکار شود و همچنین زمانی که باید فرمان وصل صادر شود، قابل تنظیم هستند.

۹ـ۱ـ۸ـ حفاظت خازن

از خازن‌ها در شبکه‌های صنعتی عموماً جهت تزریق توان راکتیو و تصحیح ضریب توان استفاده می‌شوند از این رو حفاظت آنها نیز باید در نظر گرفته شود.

هنگام بررسی و طراحی حفاظت خازنها، باید در نظر داشت که در لحظهٔ اتصال خازن‌ها به شبکه، جریان هجومی بسیار زیادی از آنها عبور می‌نماید. میزان این جریان هجومی گاه تا ۲۰ برابر جریان نامی می‌رسد؛ از این رو در انتخاب کلیدها یا مدارشکن‌هایی که به همراه چنین خازن‌هایی استفاده می‌شوند، جریان هجومی فوق نیز مد نظر قرار می‌گیرد.

مسئله دیگری که باید در نظر گرفته شود، وجود هارمونیک‌ها در ولتاژ تغذیه است که باعث افزایش جریان عبوری از خازن می‌گردد. حفاظت از خازن‌ها به منظور جلوگیری از گرم شدن، صدمه دیدن، ترکیدن خازن‌ها و آسیب دیدن کابلها و متعلقات خازن‌ها در صورت بروز اشکال در آنها، قرار داده می‌شود. اگر حفاظت فیوز در نظر گرفته شود، باید از فیوزهای HRC با جریان نامی بزرگتر یا مساوی ۱/۵ برابر جریان نامی خازن‌ها استفاده شود.

هنگامی که حفاظت توسط رله، به خازنی در جریان متوسط اعمال شده باشد، معمولاً استفاده از رله IDMT[1] جریان زیاد با دو المان فازی و یک المان خطای زمین ضروری است. به همراه دو رله فازی، عناصر لحظه‌ای سریع نیز باید قرار داده شوند. آرایش چنین حفاظتی در شکل (۹ـ۸) نشان داده شده است.

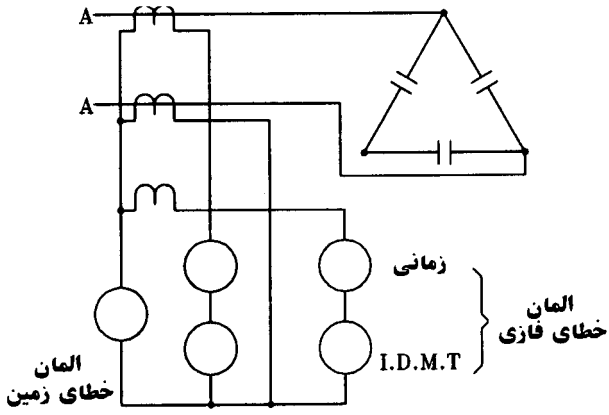
از آنجا که هارمونیک‌ها باعث افزایش جریان خازن می‌شوند، اگر رله دارای بخش جداکننده هارمونیک‌ها نباشد، به خوبی و درستی به خطاهای بوجود آمده پاسخ می‌دهد.

1-Inverse Definite Minimum Time

PowerEn.ir

بعضی از بارهای صنعتی مانند کوره‌های قوس الکتریکی از اندوکتانس‌های بسیار بزرگ و طبعاً برای جبران‌سازی از خازن‌هایی با ولتاژ خیلی زیاد در آرایش‌های مختلف استفاده می‌کنند.

هنگام استفاده از دو بانک خازنی به صورت ستارهٔ دوبل مانند شکل (۱۰ـ۸) از یک ترانسفورماتور جریان در نقطه نول جهت صدور دستور قطع به هنگام اتصال کوتاه داخلی خازن‌ها و عبور جریان‌های نامتعادل، استفاده می‌شود. رله‌های استفاده شده باید تنظیم جریانی داشته و می‌توانند دارای مدار بایاسی که از طریق ترانسفورماتور ولتاژ تغذیه می‌گردد باشند.



شکل (۹ـ۸): حفاظت جریان زیاد و زمین در خازن‌ها

آرایش دیگری که در خازن‌های ولتاژ بالا استفاده می‌شود، در شکل (۱۱ـ۸) نشان داده شده است. این روش فازهای تفکیک شده نامیده می‌شود. همانطوری که مشاهده می‌گردد در این روش خازن‌های متصل به هر فاز به دو مسیر موازی تقسیم شده و در هر مسیر نیز از یک رلهٔ تفاضلی می‌توان استفاده کرد.

رله‌ها به صورت تفاضلی، جریان‌های هر مسیر یک فاز را مقایسه می‌کنند. حساسیت رلهٔ فوق باید به گونه‌ای تعیین شود که مسئله عدم یکسان بودن خازن‌ها و عبور جریانهای نامتعادل به مقدار کم در حالت نرمال نیز در نظر گرفته شده و تحت شرایط فوق که خطایی وجود ندارد، دستور قطع صادر نگردد. نظیر این رله در حفاظت ترانسفورماتورها (فصل هفتم) توضیح داده شده است.

۱۰ـ۱ـ۸ـ حفاظت موتورها

گونه‌های متعدد و متنوع در رنج‌های وسیعی از موتورها و مشخصات آنها وجود دارد و به علت وظایف مختلف آنها حفاظت‌های مختلفی در آنها مورد نیاز است. بسیاری از این حفاظت‌ها در تمام

می‌شود. خوشبختانه بیشتر مسائل اصلی که در حفاظت موتورها وجو دارد مستقل از نوع موتور و نوع بار متصل به آن می‌باشد.

POWEREN.IR
PowerEn.ir

اصولاً حفاظت موتورها در مقابل انواع مسائل و خطاهای بوجود آمده طی دو مرحلهٔ طراحی و نگهداری اعمال می‌شود. در مرحله طراحی، حفاظت الکتریکی مورد نیاز موتور به صورت خاص، طراحی و نصب می‌گردد. در مرحله نگهداری با در نظرگرفتن شرایط مختلف روند تولید و حساسیت کار موتور در مرحله تولید، تحت شرایط اضطراری تعدادی از موتورها، به منظور پرهیز از بروز حالت ناپایداری و ایست کامل، از تغذیه جدا شده و به مرور زمان کم‌کم وارد شبکه می‌گردند. به این تکنیک «نجات موتورها» اطلاق می‌شود. لذا لازم است در خصوص حفاظت موتورها که بخش عمده‌ای از تجهیزات شبکه صنعتی را تشکیل می‌دهند مفصلاً بحث شود. بدین جهت ابتدا به عوامل مخرب موتورها پرداخته شده و سپس حفاظت‌های الکتریکی موتورها معرفی می‌گردد. بحث نجات موتورها نیز در انتها آورده می‌شود.

۲ـ۸ـ عوامل مخرب موتورها

شرایط تعیین کننده‌ای که بر انتخاب حفاظت مورد نیاز موتور، تحمیل می‌شوند را می‌توان به دو دسته کلی شرایط خارجی و خطاهای داخلی تقسیم کرد. در این دسته‌بندی پارامترهای خاصی چون تک‌فازشدگی، راه‌اندازی با توالی معکوس فاز، خروج از سنکرونیزم برای موتورهای سنکرون و... مؤثر هستند. خطاهای داخلی، خطاهایی هستند که مربوط به موتور و متعلقات مکانیکی آن می‌باشند در صورتی که برای شرایط خارجی، تغذیه اعمالی به موتور و مسائل تابعه آن تعیین کننده هستند.

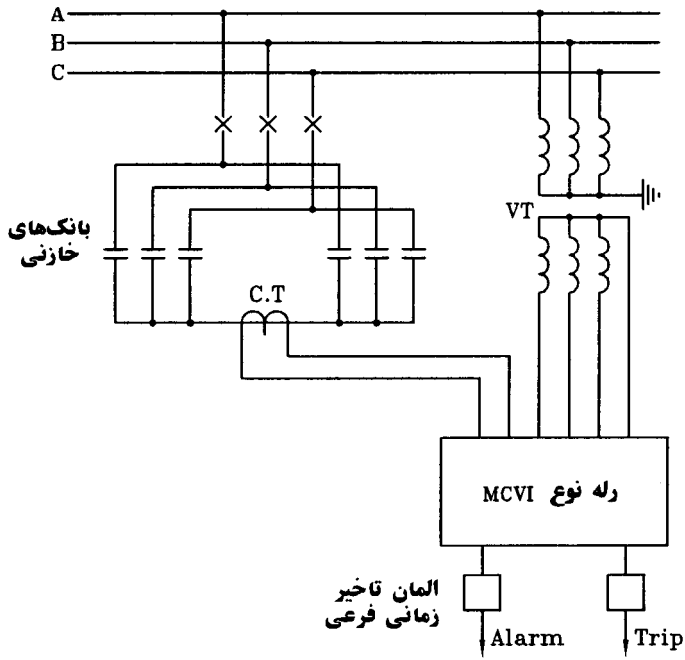
الف) خرابی بلبرینگ‌ها

یکی از عوامل مهمی که باعث صدمه دیدن موتورها می‌شود، خرابی بلبرینگ‌هاست. وظیفهٔ بلبرینگ‌ها در سازه‌های مکانیکی و همچنین در موتورها کاهش اصطکاک می‌باشد و طبیعی است که با خرابی بلبرینگ‌ها این وظیفه به خوبی انجام نشده و حتی باعث کندی حرکت نیز می‌گردد. خرابی بلبرینگ‌ها معمولاً زود به زود روی می‌دهد و باعث می‌شود که به هنگام درگیر شدن بلبرینگ خراب، موتور به آهستگی، با بار زیاد حرکت کرده و یا ایست نماید. بنابراین شانس کمی وجود دارد که حفاظت، قبل از خرابی کامل بلبرینگ‌ها دستور قطع صادر نماید. بهتر است حفاظت بکار رفته به گونه‌ای انتخاب شود که در اثر خرابی بلبرینگ‌ها و عبور جریان زیاد، آسیبی به موتور وارد نشود. بلبرینگ‌ها و بخشهای ضد اصطکاک تابعه معولاً در موتورهای کوچک تا ۵۰۰hp وجود دارند.

در موتورهای بزرگ معمولاً خرابی Sleave دیده می‌شود. این خرابی می‌تواند در اثر بروز اشکال

در روغن‌کاری موتور به وقوع بپیوندد. معمولاً انتظار می‌رود که در اثر خرابی سیستم روغن‌دهی یا فقدان روغن، بلبرینگ‌ها طی مدت یک یا دو دقیقه از کار بیفتند و افزایشی در جریان موتور روی دهد. بنابراین اگر از رله‌های معمول حرارتی اضافه بار[1] استفاده شود و مشخصهٔ آن با مشخصهٔ کارکرد موتور تطبیق داشته باشد، حفاظت کافی برای بلبرینگ‌ها فراهم نمی‌شود اما رله حرارتی فوق می‌تواند با سرعت خوبی موتور را در مقابل خرابی بیش از اندازه حفاظت نماید.

PowerEn.ir



شکل (۱۰ـ۸) حفاظت ستارهٔ دوبل

ب) گرم شدن سیم‌بندی موتور

اکثریت خرابی‌های سیم‌بندی موتور مستقیم و یا غیرمستقیم به دارای اضافه بار شدن موتور برمی‌گردد. این اضافه بار شدن موتور، در موتورهای کوچک برای مدت کم نیز می‌تواند مخرب باشد. کارکردن موتور تحت شرایط عدم تعادل ولتاژ تغذیه، قطع شدن یک فاز و... باعث ایجاد خرابی و زوال در عایق سیم‌بندی موتور شده تا جایی که بالاخره یک اتصالی در آن بوجود می‌آید.

POWEREN.IR

1- Thermal Over Load Relay

ج) اضافه بار

PowerEn.ir

تنوع گسترده در وظایف موتورها و طراحی آنها باعث می‌شود که تمام مشخصات و مقادیر نامی موتور در کاربردهای آن رعایت نشود. در دو مثال زیر دو نوع کاربرد (یا وظیفه) در موتورها که در نتیجه باعث می‌شود حفاظت آنها نیز متفاوت باشد توضیح داده میشود:

– موتوری که برای بار متغیر و لرزان استفاده می‌شود. اگر خارج شدن موتورباعث توقف و تعطیلی یک فرآیند گردد، لازم است که خروج موتور از چرخهٔ فرآیند هر چه ممکن است دیرتر صورت گیرد. معمولاً این مقصود با تنظیم جریانی بالاتر موتور فراهم می‌آید.

– موتورهایی که به بارهای یکنواخت متصل هستند. در این بارها، به محض ایجاد اضافه بار در اثر یک خطای مکانیکی، موتور باید سریعاً خارج گردد.

عموماً تمام اطلاعاتی که برای تنظیم دقیق رلهٔ اضافه بار مورد نیاز است، در موتورهای مختلف موجود نمی‌باشد. در این صورت باید تنها حفاظت‌هایی را در نظر گرفت که تا حد امکان هماهنگ با مشخصه موتور باشد. همچنین بایددقت شود که زمان لازم برای راه‌اندازی استارت موتور از طریق تنظیم زمانی رله فراهم گردد.

د) جریانهای موتور در شرایط راه‌اندازی

جریانهای راه‌اندازی موتور، مقادیر مجاز و مدت عبور این جریانها و مقادیر مجاز جریان موتور در حالت توقف، بیشترین فاکتورهایی هستند که برای حفاظت اضافه بار موتور مدنظر قرار می‌گیرند.

معمولاً فرض می‌شود که راه‌اندازی ماشین‌ها ارتباط مستقیم با مقدار جریان داشته و با افزایش سرعت موتور، جریان موتور نیز به صورت خطی با آن کاهش می‌یابد. چنین فرضی در حقیقت به همه ماشین‌ها قابل تعمیم نیست. برای طراحی‌های معمول، جریان راه‌اندازی روی مقادیر ثابت اولیه برای ۸۰ تا ۹۰ درصد زمان راه‌اندازی، تقریباً ثابت می‌ماند. جریان روتور (I_r) برای یک موتور القایی بستگی به لغزش آن داشته و از رابطه زیر بدست می‌آید:

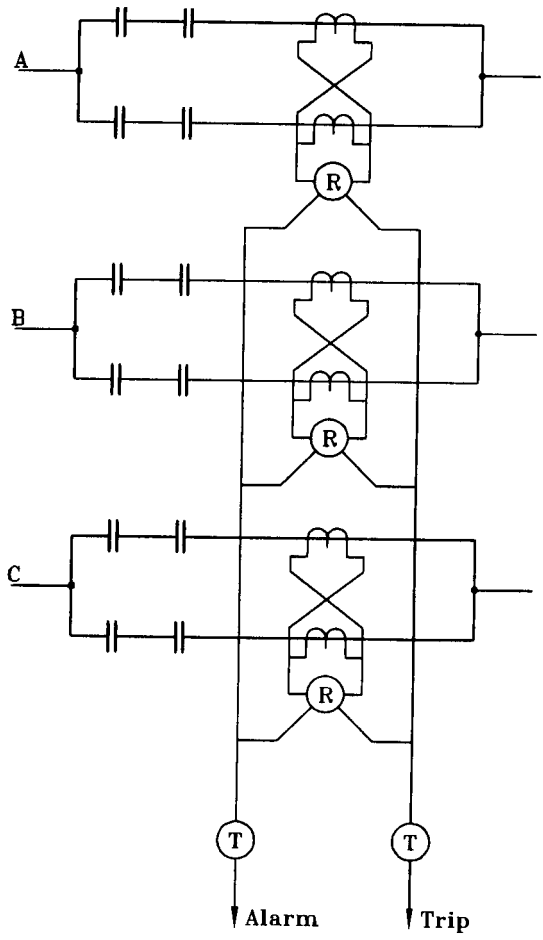
$$I_r = \frac{K_E}{\left[\left(\frac{R^2}{S^2}\right) + X^2\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad (۸-۵)$$

از رابطه (۸ـ۵) و با فرض اینکه راکتانس ماشین تقریباً ۱۰ برابر مقاومت سیم‌بندی ماشین باشد، منحنی شکل (۸ـ۱۲) بدست می‌آید.

POWEREN.IR

1- Rating

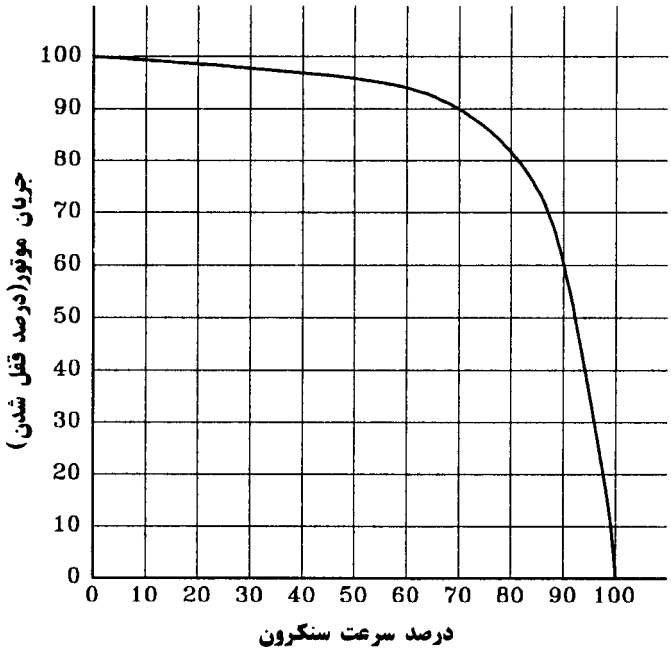
PowerEn.ir



شکل (۱۱ـ۸) حفاظت تفاضلی بانک‌های خازنی

در شکل (۱۲ـ۸) ارتباط بین جریان موتور به صورت درصدی از جریان توقف و یا جریان راه‌اندازی و سرعت موتور به صورت درصدی از سرعت سنکرون، نشان داده شده است. معادلهٔ (۵ـ۸) نشان می‌دهد که برای موتورهایی با مقاومت کم روتور، $(\frac{R}{S})^2$ فقط در شرایطی که مقدار لغزش کوچک باشد، قابل مقایسه با X است. بنابراین همانطور که در شکل (۱۲ـ۸) نشان داده شده جریان راه‌انداز یا جریان موتور تا هنگامی که به سرعت نرمال خودش برسد، حدوداً روی مقدار جریان راه‌انداز (و یا جریان موتور در حالت توقف روتور) ثابت می‌ماند. بنابراین هنگام محاسبه تنظیم جریانی و زمانی رله جریان زیاد و یا انتخاب فیوز مناسب برای حفاظت موتور، فرض می‌شود که جریان راه‌اندازی موتور، در تمام مدت راه‌اندازی آن ثابت می‌ماند.

PowerEn.ir



شکل (۲ ۱ـ۸): جریان راه‌اندازی در سرعت‌های مختلف یک موتور

ه) توقف موتور

اگر یک موتور به بار بزرگ برخورد نماید احتمال آنکه توقف نموده و یا راه‌اندازی نشود وجود دارد. در این صورت، جریانی از منبع تغذیه که جریان قفل‌شدگی روتور است از آن عبور می‌نماید. روشن است که تحت این شرایط برای جلوگیری از آسیب دیدن موتور، باید هر چه سریع‌تر آن را از منبع تغذیه جدا نمود.

امکان اینکه این حالت کار نادرست، از راه‌اندازی (استارت) صحیح موتور توسط مقایسه جریانها تمیز داده شود، وجود ندارد. تنها راه برای جداکردن این دو حالت، استفاده از وسایل حفاظتی است، تا کار موتور را در حالتی که جریان قفل‌شدگی روتور از موتور بگذرد تشخیص دهد.

در اکثریت بارها، زمان راه‌اندازی موتور القایی کمتر از ۱۰ ثانیه است، در صورتی که عایق‌بندی موتور برای مدت بیشتر از ۲۰ ثانیه توقف روتور، آسیب دیده و از بین می‌رود؛ بنابراین، دو حالت فوق را می‌توان به سادگی با مقایسه زمان عبور جریانها از هم تمیز داد.

در شرایطی که از موتور برای بارهای خاصی استفاده میشود (مانند موتوری که باری با اینرسی زیاد را راه‌اندازی می‌نماید و زمان راه‌اندازی طولانی‌تری دارد) موتور به مرز آسیب‌پذیری نزدیک‌تر

شده و بنابراین ضروری است که در چنین شرایطی دقت لازم به عمل آید. در اینگونه موارد، بسته به نوع رله جریان زیادی که استفاده شده، به رله خاص دیگری که حفاظت مطلوب را برای شرایط توقف موتور فراهم نماید، نیاز است. وجود یا عدم وجود حفاظت اضافی فوق، برای حالت توقف روتور بستگی مستقیم به زمان راه‌اندازی نرمال و زمان توقف مجاز[1] دارد. بنابراین مشخصه زمان – جریان[2] رله‌ای که تنظیم می‌شود باید به گونه‌ای نزدیک به مشخصه موتور باشد تا برای راه‌اندازی و کارکرد نرمال موتور مشکلی ایجاد ننماید.

بیشترین عاملی که باعث توقف موتورهای القائی می‌شود از دست دادن یک فاز تغذیه‌است. این امر احتمالاً می‌تواند ناشی از سوختن یکی از فیوزهای سر راه موتور در اثر جریان هجومی اولیه موتور باشد.

در این حالت موتور شروع به گردش کرده ولی بعد از قطع یک فاز، ساکن باقی می‌ماند. دو فاز شدن موتور می‌تواند در اثر باز شدن یک فاز تغذیه نیز صورت پذیرد. مقدار واقعی جریان کشیده شده توسط ماشین در این حالت، کمتر ازحالت توقف و وجود تغذیه سه فاز بوده و حدوداً $\sqrt{3}$ برابر جریان در حالت قفل‌شدگی روتور میباشد. در این حالت اگر چه جریان کمتر است ولی به دنبال این جریان زیاد، گرمای زیادی تولید شده که باعث صدمه دیدن آن سمت سیم‌بندی ماشین می‌شود.

هنگام اعمال تغذیه سه فاز متعادل به یک ماشین و تولید میدان گردان، روتور به صورت متقارن گرم نمی‌شود اما وقتی که ولتاژ تغذیه نامتعادل باشد (مانند قطع یک فاز)، یک میدان ضربانی در روتور القا می‌شود که ناشی از فلوهای ایجاد شده توسط مؤلفه‌های مثبت و منفی جریان است. این امر باعث ایجاد گرمای نامتقارن در سیم‌بندی روتور شده و در نهایت صدمه دیدن روتور را به دنبال خواهد داشت. بنابراین ضروری است هر چه سریعتر تغذیه از موتور برداشته شود.

و) عدم تقارن ولتاژ تغذیه

ولتاژ تغذیه یک موتور به دلایل مختلفی مانند تک فازشدگی و یا قطع یکی از فازهای تغذیه (در اثر عوامل متعددی مانند سوختن فیوز سر راه آن) می‌تواند حالت عدم تعادل به خود گرفته و موتور با وجود متصل بودن به ولتاژ تغذیه، درحالت سکون قرار گیرد.

اما در بعضی موارد، با باز شدن تصادفی یک فاز تغذیه بسته به باری که موتور آن را حمل می‌کند، موتور می‌تواند به حرکت خود ادامه دهد. از جمله این موارد را می‌توان حالتی در نظر گرفت که یک

1- Max - Locked Roto Time - Inrush Current

2- Time Current Chaarecteristic (TCC)

موتور باری با اینرسی زیاد را حرکت می‌دهد؛ در نگاه اول اینگونه به نظر می‌آید که عدم تعادل ولتاژ تغذیه در شرایط نرمال توقف، تاثیر قابل توجهی در کارکرد موتور نمی‌گذارد ولی باید تاکید شود که تنها عدم‌تعادل ولتاژ مهم نیست، بلکه جریان توالی منفی بزرگی که در اثر عدم‌تعادل تغذیه به ماشین سرازیر می‌شود مهم بوده و باعث گرم شدن نابجای موتور و در نهایت صدمه دیدن آن می‌گردد.

PowerEn.ir

حالتی که یک خط از تغذیه سه فاز یک موتور القایی قطع می‌گردد، معمولاً به عنوان بدترین حالت عدم تعادل و ایجاد گرما در سیم‌بندی در نظر گرفته می‌شود. (در بیشتر موارد عملی عدم‌تعادل ولتاژ، این فرض صحیح بوده ولی ضرورتاً چنین نیست). مدار معادل یک موتور القایی با باز بودن یک فاز در شکل (۱۳ـ۸) نشان داده شده است[۵].

مشاهده می‌شود که امپدانس توالی مثبت و منفی جریان در شبکهٔ فوق به صورت سری قرار می‌گیرند و در این حالت خاص، دامنهٔ مؤلفه‌های توالی مثبت و منفی جریان باید برابر باشند.

۳ـ۸ـ اثر مؤلفه‌های موتور

الف - محاسبهٔ مؤلفه‌های امپدانس جریان

در حالت‌های معمولی نامتعادلی ولتاژ، هیچ ارتباط ثابت و مشخصی بین مؤلفه‌های مثبت و منفی جریان وجود ندارد. مقدار واقعی مؤلفه منفی جریان، بستگی به میزان نامتعادلی ولتاژ تغذیه دارد، همچنین مؤلفه جریان می‌تواند به نسبتی از نامتقارنی در ولتاژ تغذیه و درصدی از نسبت امپدانس‌های منفی و مثبت در ماشین نیز بستگی داشته باشد. این نسبت را می‌توان از مدار معادل ماشین اَسنکرون بدست آورد. شکل (۱۴ـ۸) مدار معادل ماشین را نشان می‌دهد. در این شکل امپدانس مغناطیس کننده موتور (شاخه موازی مدار معادل) منظور نشده است.

در مدار فوق، امپدانس توالی مثبت ماشین در هر لغزش S از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$\left[\left(R_{s1}+\frac{R_{R1}}{S}\right)^2+\left(X_{s1}+X_{R1}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۸ـ۶)$$

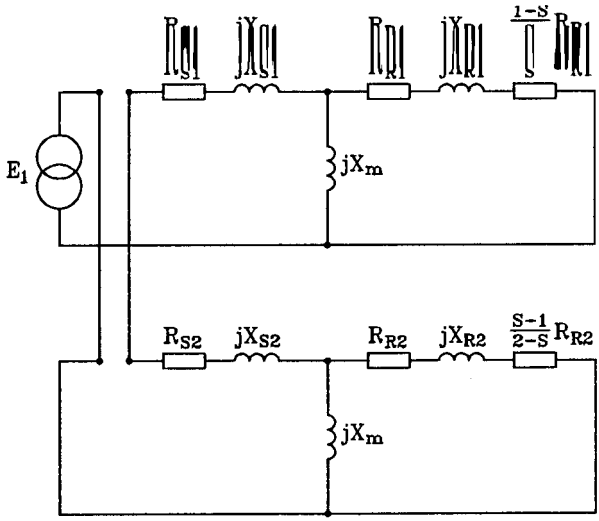
در حالت ساکن هنگامی که $S = 1$ باشد:

$$\left[\left(R_{s1}+R_{R1}\right)^2+\left(X_{s1}+X_{R1}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۸ـ۷)$$

POWEREN.IR

امپدانس توالی منفی ماشین در لغزش S می‌شود:

PowerEn.ir



شکل (۳ ۱ـ۸): مدار معادل یک موتور القایی در حالت باز بودن یک فاز

$$\left[\left(R_{s۲}+\frac{R_{R۲}}{۲-S}\right)^{۲}+\left(X_{s۲}+X_{R۲}\right)^{۲}\right]^{\frac{۱}{۲}} \qquad (۸ـ۸)$$

در سرعت سنکرون که $S = ۰$ است، امپدانس توالی منفی می‌شود:

$$\left[\left(R_{s۲}+\frac{R_{R۲}}{۲}\right)^{۲}+\left(X_{s}+X_{R۲}\right)^{۲}\right]^{\frac{۱}{۲}} \qquad (۸ـ۹)$$

از آنجا که در موتورهای القایی مقاومت ماشین خیلی کمتر از راکتانس آن است می‌توان با تقریب خوبی نتیجه گرفت که امپدانس توالی منفی یک موتور القایی در سرعت سنکرون، تقریباً با امپدانس توالی مثبت موتور در حالت سکون برابر است. بنابراین می‌توان گفت:

«نسبت بین امپدانس توالی مثبت به توالی منفی ماشین در سرعت سنکرون (سرعت نرمال موتور) تقریباً با نسبت جریان راه‌اندازی به جریان‌بار کامل موتور برابر است.»

$$\frac{Z_{۱}}{Z_{۲}} \approx \frac{I_{st}}{I_{FL}} \qquad (۸ـ۱۰)$$

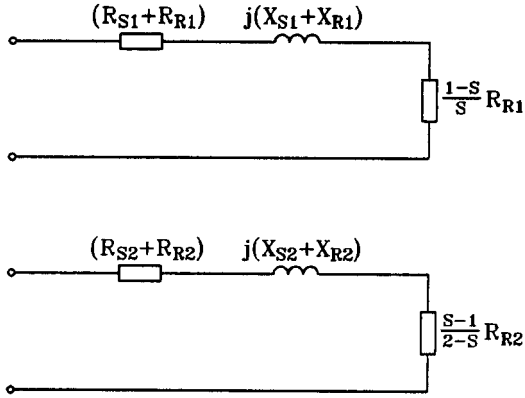
POWEREN.IR

همچنین:

«جریان توالی منفی تقریباً با حاصل ضرب ولتاژ توالی منفی در نسبت بین جریان راه‌انداز و

جریان بار کامل برابر می‌باشد.»

PowerEn.ir



شکل (۴ ـ۸): مدار معادل یک موتور القایی در حالت کلی

$$I_{۲} \approx V_{۲} \frac{I_{st}}{I_{FL}} \qquad (۸ـ۱۱)$$

به عنوان مثال در موتوری که جریان راه‌اندازی آن ۶ برابر جریان نامی باشد؛ ۵٪ ولتاژ توالی منفی در تغذیهٔ آن می‌تواند ۳۰٪ جریان توالی منفی را نتیجه دهد. اگر در این مثال، مؤلفه منفی ولتاژ در ولتاژ نامتعادل بیش از ۱۷٪ ولتاژ توالی مثبت باشد، نتیجتاً جریان توالی منفی بزرگتر از جریان توالی مثبت خواهد بود.

اگر یک فاز باز شده باشد، باز هم امکان آن وجود دارد که مؤلفه منفی جریان، از مؤلفه مثبت آن بیشتر شود و این به محل باز شدن تغذیه در شبکه بستگی دارد. اگر موتوری به همان شینه که برای بار غیرموتوری تغذیه شده متصل باشد (مطابق شکل الف – ۱۵ـ۸)، امکان اینکه جریان توالی منفی بزرگتر از جریان توالی مثبت گردد وجود خواهد داشت. دلیل این مسئله را از (شکل ب – ۱۵ – ۸) می‌توان استنباط کرد.

مؤلفه‌های مثبت و منفی جریان کشیده شده، برابر $(I_{m۱} + I_{L۱})$ و $(I_{m۲} + I_{L۲})$ است که با هم برابرند ولی همانطور که ثابت شده $Z_{m۲} < Z_{m۱}$ بوده و در نتیجه توزیع دو مؤلفه مثبت و منفی جریان در موتور و بار متفاوت بوده و باعث می‌شود که بخش بزرگتری از جریان توالی منفی کل از موتور عبور نماید[۵].

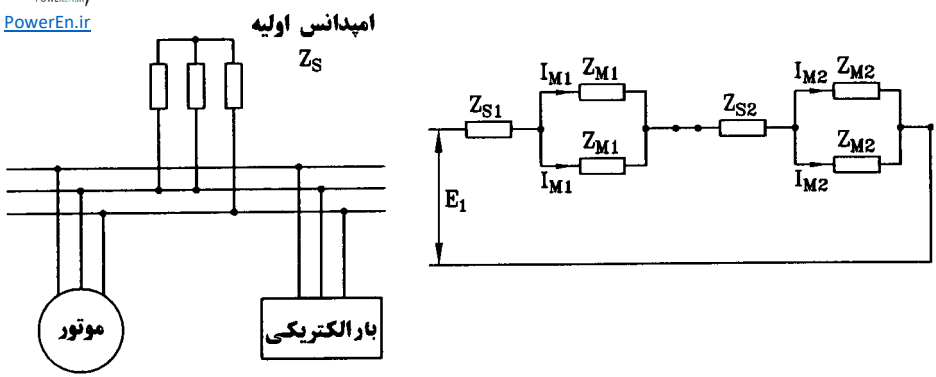
ب - افت مشخصات[1] ماشین ناشی از جریان‌های نامتعادل

مؤلفه منفی جریان در موتور، دخالتی در ایجاد گشتاور تولیدی نداشته و در حقیقت، گشتاور بسیار

1- Derating

کوچکی تولید می‌نماید. مقدارگشتاور ناشی از جریان توالی منفی، در حالتی که ۱۰٪ عدم‌تعادل در تغذیه داشته باشیم، معمولاً کمتر از ۰/۵٪گشتاور بار کامل است.

PowerEn.ir



ب - شماتیک امپدانس‌های ترتیبی معادل الف - شماتیک مدار

شکل ۱۵ـ۸: شرایطی که جریان توالی منفی از جریان توالی مثبت بیشتر است

نتیجه مهم جریان توالی منفی، افزایش تلفات مسی موتور است. بنابراین خروجی ماشین را (حتی اگر تأثیر منفی گرمای زیاد بر سیم‌بندی را در نظر نگیریم) کاهش می‌دهد. این کاهش مشخصات خروجی ماشین، به نسبت بین جریان راه‌اندازی و جریان نامی ماشین بستگی دارد. برای نسبت‌های ۴ و ۶ و ۸ این وابستگی و مقادیر متفاوت ولتاژ توالی منفی به ولتاژ توالی مثبت در شکل (۸ـ۱۶) نشان داده شده است.

در شکل (۸ـ۱۶) فرض شده که:

- جریان توالی مثبت در شرایط عدم‌تعادل، برابر جریان توالی مثبت در شرایط تعادل می‌باشد. این فرض تا زمانی که ولتاژ اعمال شده دارای مؤلفه منفی کوچکی باشد معتبر است.

- یک هدایت گرمایی بین سیم‌بندی‌های مجزای فازهای سه‌گانه استاتور وجود دارد. این فرض باعث می‌شود که افزایش دما در هر فاز سیم‌بندی متناسب با متوسط جریان فاز باشد.

متعادل نبودن جریان‌های فازی که از استاتور یک ماشین عبور می‌کند، باعث شده که سیم‌بندی فاز یا فازهایی که جریان بیشتری از خود عبور می‌دهند، بیشتر گرم شود. مقداری از این حرارت توسط هسته استاتور تلف شده یا به فضای آزاد منتقل می‌شود و مابقی صرف ایجاد تعادل حرارتی بین سیم‌بندی‌های سه گانه خواهد شد.

دمای حالت ماندگار فازی که بیشترین جریان را عبور می‌دهد متناسب با مقدار $\frac{(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2)}{3}$ می‌باشد. برای یک ماشین که تبادل حرارتی بین سیم‌بندی‌های آن وجود دارد،

مقدار فوق، متوسط مقدار گرم شدن موتور است. برای مقادیر کوچک عدم‌تعادل جریان، منطقی است که فرض شود زمان کافی برای رسیدن به دمای تعادل در سیم‌بندی، قبل از سوختن فازی که جریان زیادتری را از خود عبور می‌دهد، وجود خواهد داشت. این زمان برای انتهای سیم‌بندی‌ها که با بدنه آهنی در تماس نیستند، طولانی‌تر خواهد بود، ولی از آنجا که بیشترین دما در انتهای سیم‌بندی، کمتر از قسمت ابتدائی (در انتهای شیار) می‌باشد، این دو همدیگر را جبران می‌نمایند.

PowerEn.ir

توزیع واقعی گرما میان سیم‌بندی استاتور، به میزان زیادی به حالت بین مؤلفه‌های مثبت و منفی جریان نامتعادل بستگی دارد. در شکل (۱۷ـ۸) فرض شده که مؤلفه‌های مثبت و منفی جریان فاز A هم جهت باشند. حال اگر مؤلفه متوالی منفی ولتاژ تغذیه ۵٪ باشد، مؤلفه منفی جریان در موتوری که $\frac{Z_1}{Z_2}$ برابر ۶ باشد، ۳۰٪ خواهد بود.

$$I_2 = V_2 * \frac{Z_2}{Z_1}$$

مقادیر جریان‌ها در مقیاس واحد (P.U) برابر است با:

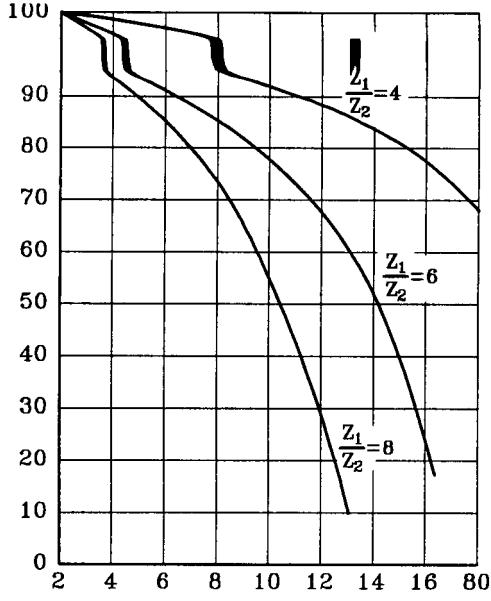
$$I_0 = 0 \text{ ،} I_2 = 0/3 \text{ ،} I_1 = 0/05 \Rightarrow I_A = 1/3 \text{ ،} I_B = I_C = 0/89$$

نتیجتاً تلفات مسی در فازهای C و B و A متناسب با مربع جریانها و به ترتیب برابر با ۱/۶۹، ۰/۷۹، ۰/۷۹ خواهد بود. در این حالت تنها یک فاز تلفات زیاد و اضافه دما دارد و دو فاز دیگر تلفات و دمای کمتری دارند. بنابراین دو فاز B و C مانند یک رادیاتور عمل کرده و باعث می‌شوند که در اثر انتقال حرارت، دمای سه فاز روی مقداری کمتر از حد مجاز ثابت بماند.

در شکل (۱۸ـ۸) فرض شده که مؤلفه مثبت و منفی جریان در فاز A، ۱۸۰° با هم اختلاف فاز داشته باشند؛ با محاسباتی مانند حالت قبل برای ۵٪ مؤلفه منفی در ولتاژ تغذیه، تلفات مسی در فازهای سه‌گانه A و B و C به ترتیب برابر ۰/۴۹ و ۱/۳۷ و ۱/۳۶ می‌باشد. در این حالت دو فاز، دارای تلفات مسی بالاتر از حد نرمال بوده و تنها یک سیم‌بندی استاتور نقش رادیاتور را ایفا می‌کند. نتیجتاً احتمال آنکه دمای تعادل از درجه حرارت مجاز سیم‌بندی بیشتر باشد وجود داشته و امکان سوختن موتور نیز وجود دارد.

POWEREN.IR

PowerEn.ir



شکل (۱۶-۸): کاهش مشخصات خروجی موتور القایی در صورت وجود ولتاژ نامتعادل

مسئله مهم دیگر در تبادل حرارتی بین سیم‌بندی‌ها، ضخامت عایق سیم‌بندی‌ها است. در موتورهایی که تحت ولتاژهای بالا کار می‌کنند عایق سیم‌بندی‌ها قوی‌تر و ضخیم‌تر شده و باعث می‌گردد که انتقال حرارت به خوبی صورت نگیرد و در صورت بروز خطا یا حالت عدم تعادل، دمای سیم‌بندی فازی که برای آن خطا یا عدم‌تعادل بوجود آمده، افزایش یافته و ازحد مجاز تجاوز می‌نماید.

با توجه به توضیحات داده شده در این بخش، ضرورت قرار دادن عناصر حفاظتی در مقابل کاهش یا عدم تقارن ولتاژ تغذیه کاملاً احساس شده و برای موتورهای بزرگ یا موتورهایی که ولتاژ نامی بالایی دارند این عنصر حفاظتی حتماً باید قرار داده شود.

۸-۴- حفاظت از موتورها در مقابل خطاهای وارده [۳]

گونه‌های بسیار متنوعی از موتورها و به همان نسبت نیز گونه‌های متفاوت و متنوعی از حفاظت آن‌ها وجود دارد. در تمام این گونه‌های حفاظت، مسائل خاصی را باید در نظر گرفت که از قرار زیر هستند:

الف - مشخصات موتور[1]: این مشخصات شامل نوع، سرعت، ولتاژ، قدرت مکانیکی (hp)،

POWEREN.IR

1- Motor Characteristic

فاکتور ضریب قدرت، محیط اطراف موتور، روغن‌کاری و محلهای آن، آرایش سیم‌بندی‌ها و حد مجاز حرارتی آنها، ظرفیت تحمل حرارتی روتور و استاتور در خلال راه‌اندازی، کارکرد معمولی و توقف موتور و همچنین وظیفه‌ای که موتور در پروسهٔ تولید بر عهده دارد، می‌باشد.

PowerEn.ir

ب - چگونگی راه‌اندازی موتور: اطلاعاتی از قبیل راه‌اندازی در ولتاژ کامل یا در ولتاژی کمتر از ولتاژ نامی، میزان جریانهای هجومی در خلال راه‌اندازی، استارت‌های مکرر و مسائل متفرقه دیگری که بستگی به عملکرد موتور دارد، برای اطلاع از چگونگی راه‌اندازی موتور، مورد نیاز است.

ج - شرایط محیطی: حداقل و حداکثر درجه حرارت، ارتفاع محل قرار گرفتن موتور، منابع حرارتی مجاور، چگونگی تهویه، احتمال آنکه موتور در معرض آب، مواد شیمیایی،... یا آسیب جانوران جونده باشد و همچنین مسائل و حوادث طبیعی در محل قرار گرفتن موتور نیز باید در نظر گرفته شوند.

د - تجهیزات گردشی [1]: هنگام استفاده از موتورها، مسائل و خطاهای مختلفی مانند قفل شدن‌روتور، معایب و ایراداتی که منجر به نرسیدن موتور به سرعت نامی می‌شود، گرمای زیاد در خلال راه‌اندازی، اضافه بار، توقف [2] و... بروز کرده و باعث تغییراتی در سیستم می‌شود این تغییرات باید سریعاً آشکار و شناسایی شده و رفع گردند.

هـ - سیستم قدرت: نوع زمین نمودن سیستم، در معرض صاعقه یا اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از کلیدزنی بودن، ظرفیت خطا [3]، احتمال قطع و وصل ناشی از عملکرد رکلوزر یا انتقال باس [4]، امکان تک فاز شدن تغذیه (در اثر قطع هادی، باز شدن کلید یا سوختن فیوز)، همچنین وجود بارهای دیگری که در شبکه ایجاد عدم‌تعادل می‌کنند باید در نظر گرفته شوند.

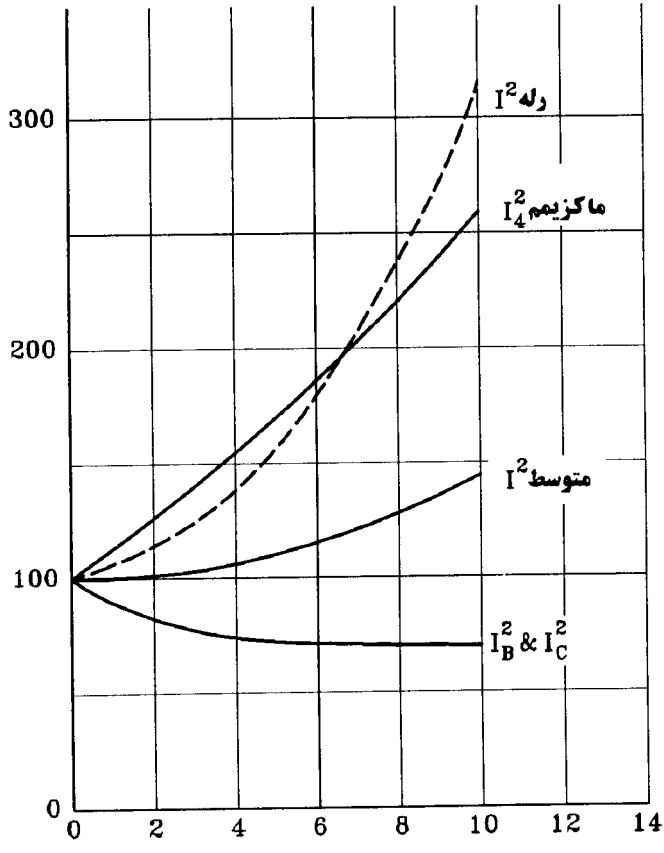
و - اهمیت موتور: ارزش و قیمت موتور، میزان حسارتی که در اثر خروج موتور از سیستم واردمی‌گردد، میزان هزینه‌های تعمیر و نگهداری و سهولت تعمیرات نیز باید در نظرگرفته شوند.

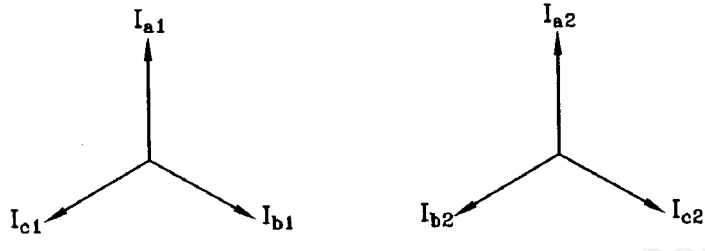
گونه‌های متعددی از حفاظت برای موتورها وجود دارد که برای هر یک نیز روشهای مختلفی موجود است. در این بخش روشهای متعدد حفاظت موتورها معرفی خواهند شد.

POWEREN.IR

1- Driving Equipment
2- Stalling
3- Fault Capacity
4- Bus Transfer:

PowerEn.ir

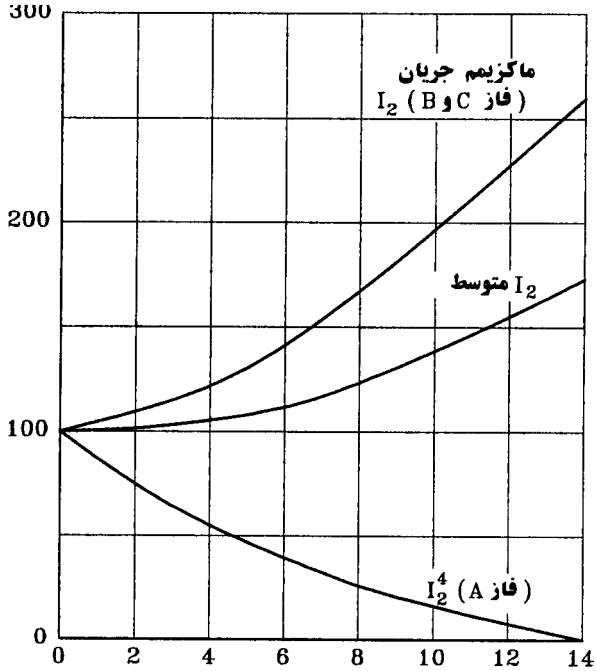


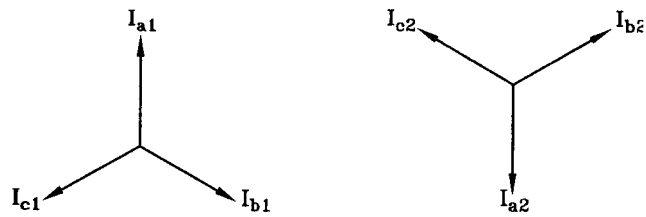


POWEREN.IR

شکل (۱۷ـ۸): مشخصه موتور درحالتی که $\frac{Z_1}{Z_2}$ برابر ۶ باشد (I_{a2} همفاز با I_{a1})

PowerEn.ir





شکل (۱۸ـ۸): مشخصه موتور در حالتی که $\frac{Z_1}{Z_2}$ برابر ۶ باشد (I_{a2} غیرهمفاز با I_{a1})

۱ـ۴ـ۸ـ حفاظت در مقابل کاهش ولتاژ[1]:

در اثر کاهش ولتاژ، موتورها به سرعت نامی خود نرسیده و یا سرعت خود را از دست داده و اضافه بارهای سنگینی را متحمل می‌شوند. هنگامی که کاهش ولتاژ شدیدی برای مدتی بیش از چند ثانیه وجود داشته باشد، موتور باید از تغذیه جدا گردد. کنتاکتورهای AC که معمولاً در ۷۰–۵۰ درصدی ولتاژ نامی کار می‌کنند، حفاظت خوبی را برای کاهش ولتاژ فراهم می‌آورند.

1- Under Voltage Protection

حفاظت در مقابل کاهش ولتاژ، معمولاً جهت نیل به دو مقصود صورت می‌گیرد:

PowerEn.ir

به هنگام برق‌دار کردن یک باس بار، تمامی موتورهای متصل به آن با هم شروع به‌استارت کرده و هر یک با کشیدن جریان‌های راه‌اندازی زیاد، کاهش ولتاژ شدیدی روی باس بار بوجود می‌آورند. این کاهش ولتاژ می‌تواند باعث ناپایداری و توقف موتور گردد که سوختن آن را در پی دارد. در این گونه موارد باید موتورها سریعاً از تغذیه جدا گردند. (رجوع شود به بخش (۲ـ۵ـ۸)، «نجات موتورها»)

به دنبال یک کاهش ولتاژ در شبکه، جریانهای هجومی زیادی از کل موتورها عبور می‌نمایند. برای پرهیز از عبور این جریانهای زیاد و یا جریانهای هجومی زیادی که در اثر وصل مجدد باس بار به تغذیه روی می‌دهد، از حفاظت کاهش ولتاژ استفاده می‌شود. حفاظت در مقابل افت ولتاژ می‌تواند هم از نوع لحظه‌ای و هم از نوع دارای تأخیر زمانی باشد. از حفاظت با تأخیر زمانی در مواردی استفاده می‌شود که کارکرد پیوسته موتور در یک فرآیند صنعتی اهمیت داشته باشد. در مواردی مانند حالت‌های زیر، حفاظت با تأخیر زمانی[1]، کافی و رضایت بخش نبوده و باید از حفاظت لحظه‌ای[2] استفاده کرد:

الف – در سیستم‌هایی که ظرفیت خطای سه فاز کمی دارند، از ترکیب فیوز – کنتاکتور یا مدارشکن – کنتاکتور در راه‌اندازها استفاده می‌شود. با کنتاکتورهای موجود و معمول، در اثر بروز خطا و نتیجتاً کاهش ولتاژ، کنتاکتور قبل از عمل کردن فیوز، عمل کرده و موتور را از تغذیه جدا می‌نماید. در اینجا این اشکال وجود دارد که کنتاکتور را می‌توان دوباره فعال کرد در صورتی که خطا هنوز بر طرف نشده است. در این گونه موارد، حتماً باید در اثر بروز خطا، فیوز بسوزد. این مشکل هنگامی که ظرفیت خطا زیادتر باشد با سوختن فیوز، دیگر بوجود نخواهد آمد. شکل (۱۹ـ۸) یک ترکیب ساده از فیوز – کنتاکتور را نشان می‌دهد [۱۰].

ب – موتورهای سنکرون که از استارتر استفاده می‌نمایند، از کنتاکتورها نیز به عنوان نگهدارنده ولتاژ[3] بهره می‌برند. با روشهای معمول تأخیر زمانی حفاظت در مقابل افت ولتاژ، در اثر بروز خطاهای خارجی و افت ولتاژهای گذرا، کنتاکتور بکار رفته قطع و مجدداً وصل می‌گردد. با وصل مجدد کنتاکتور، ولتاژ تغذیه‌ای که به موتور اعمال می‌شود، همفاز با ولتاژ داخلی ماشین نبوده و جریان هجومی گذرای شدیدی از ماشین عبور کرده که می‌تواند آسیب‌های جدی و شدیدی به

POWEREN.IR

1- Time Delay
2- Instantenous
3- Voltage held

سیم‌پیچی، شفت و حتی فونداسیون موتور وارد آورد. این مسئله همچنین می‌تواند در موتورهای القایی قفس سنجابی سریع نیز که قدرت مکانیک بالایی دارند، ایجاد شود. در موتورهای القایی ۲۰۰hp و کمتر، این مسئله زیاد مهم نیست زیرا ولتاژ داخلی در این موتورها سریعاً میرا شده و به صفر می‌رسد.

PowerEn.ir

پ – برای موتورهایی که در سیستم‌های دارای رکلوزر با باس ترانسفر سریع کار می‌کنند، حفاظت باید این ویژگی را داشته باشد که در صورت بروز خطا، قبل از عمل کردن رکلوزر یا باس ترانسفر از تغذیه جدا شده تا با وصل مجدد تغذیه، جریانهای گذرای شدید از موتور عبور نکرده و مسائل و مشکلات تابعه آن بوجود نیاید.

ت – هنگامی که تعدادی بار موتوری، دارای حفاظت در مقابل کاهش ولتاژ تأخیری باشند، در صورت وصل مجدد و راه‌اندازی، تمام موتورها جریان هجومی زیادتری کشیده و همین امر باعث کاهش ولتاژ سیستم می‌شود نتیجه این خواهد شد که بعضی از قسمت‌های سیستم به حالت سکون خواهند رسید. در این گونه موارد، موتوری که کمترین اهمیت را در شبکه داشته باشد، باید دارای حفاظت کاهش ولتاژ لحظه‌ای باشد. روش دیگر این است که حفاظت کاهش ولتاژ تأخیری[1]، با تأخیر مناسب روی موتورهای مختلف اعمال شده تا میزان جریان هجومی اولیه کنترل گردد.

اتصال موتور به شبکه نیز با روشهای خاص و استفاده از کنتاکتورهای DC یا AC صورت‌می‌گیرد که ذیلاً به بررسی هر یک پرداخته می‌شود.

الف) اتصال به کمک کنتاکتورهای قفل شونده[2] یا مدارشکن[3]:

این نوع وسایل کلیدزنی در طی مدتی که ولتاژ AC کاهش یافته یا به صفر می‌رسد، کماکان بسته خواهند ماند. روشهای زیر برای قطع وسایل فوق بکار برده می‌شوند:

– فعال کردن کویل قطع کننده که به صورت موازی قرار گرفته، توسط ولتاژ DC یک باطری.

– فعال کردن کویل قطع کننده موازی توسط دشارژ خازنی که با یکسوکننده‌ای از ولتاژ تغذیه AC شارژ شده باشد.

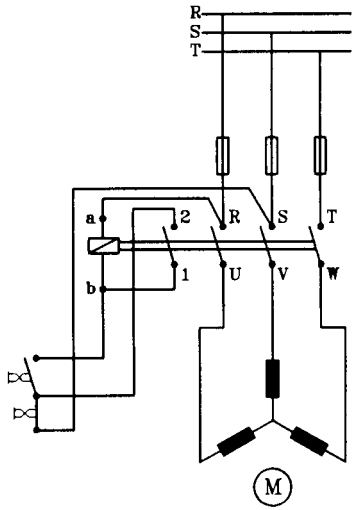
– غیرفعال کردن یک سولونوئید، تا به یک فنر فشرده شده اجازه قطع کنتاکتور یا مدارشکن داده شود.

POWEREN.IR

1- Time Delay Under Voltage Protection 2- Latching

3- Circuit Breaker

PowerEn.ir



شکل (۱۹ـ۸): ترکیب ساده‌ای از فیوز و کنتاکتور و موتور

از روشهای اول تا سوم مشترکاً به همراه «رله‌های حساس به ولتاژ»[1] استفاده می‌شود. در روش چهارم می‌توان از ولتاژ AC شبکه نیز استفاده نمود.

ب) اتصال به کمک کنتاکتور اصلی با ولتاژ AC:

از آنجا که کنتاکتور اصلی به هنگام قطع جریان AC، قطع می‌شود، بنابراین این وسیله، همچون یک عنصر در مقابل صفر شدن ولتاژ انجام وظیفه می‌نماید. این روش حفاظت مناسبی را برای افت ولتاژ فراهم نکرده و اگر استارت مجدد موتور احتمال آسیب جانی و مالی به همراه داشته باشد، نباید از آن استفاده شود.

ج) اتصال به کمک کنتاکتور با ولتاژ DC

با این روش، کنتاکتور اصلی در هنگام کاهش یا صفر شدن ولتاژ AC بسته باقی می‌ماند. حفاظت افت ولتاژ تأخیری با استفاده از رله‌های حساس به ولتاژ میسر می‌گردد.

د) رله‌های حساس به ولتاژ:

پرمصرف‌ترین نوع این رله‌ها، رله‌های تک فاز با دیسک القایی بوده که به منظور حفاظت افت ولتاژ تأخیری استفاده می‌شوند. از آنجا که وسایل کنترل سوختی (مثل فیوزها) باعث قطع می‌شوند، در بعضی موارد مطلوب است که با متصل کردن دو یا سه تا از این رله‌ها به فازهای متفاوت و اتصال آنها به همدیگر، قبل از آنکه دستور قطع توسط وسیله سوختنی صادر شود، همگی با هم قطع نمایند.

1- Voltage Sensing Relay

AMIRKABIR University of Technology
(Tehran Polytechnic)

By: H. Askarian Abyaneh (Ph.D)
Associate Professor
Amirkabir University of Technology
M. Taleshian Jelodar (M.Eng)

حفاظت سیستم‌های قدرت در مقابل انواع خطاها و جلوگیری از بروز و یا به حداقل رساندن خسارات از مهمترین موضوعات مطرح در سیستم‌های قدرت می‌باشد. در این کتاب، پس از تعریف مفاهیم اولیه رایج در مورد رله‌ها و حفاظت شبکه‌ها، ترانسهای ولتاژ و جریان معرفی شده‌اند و سپس اصول روشهای متداول حفاظتی نظیر حفاظت‌های جریان زیاد، تفاضلی و دیستانس تشریح شده است. روشهای حفاظت مهمترین تجهیزات شبکه‌های قدرت نظیر ژنراتورها، ترانسفورماتورهای قدرت، شینه‌ها، موتورها و شبکه‌های صنعتی نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر روشهای حفاظتی که بر اساس رله‌ها استوارند، کاربرد فیوزها و نحوهٔ استفاده از آنها در شبکه‌های قدرت نیز آورده شده است.

این کتاب ضمن اینکه منبع درسی حفاظت و رله‌ها در سال آخر کارشناسی دانشجویان رشته مهندسی برق - قدرت محسوب می‌شود، می‌تواند مورد استفادهٔ مهندسین شاغل در صنعت برق نیز قرار گیرد

POWEREN.IR

ISBN: 964-963-097-1
9789644630972

Poweren.ir
حفاظت و رله‌ها
310194
امیرکبیر