

حفاظت سیستم‌های قدرت

www.ketab.ir

تألیف: همایون حایری

سرشناسه: حایری، همایون، ۱۳۳۶ -

عنوان و نام پدیدآور: حفاظت سیستم‌های قدرت/تألیف همایون حایری.

مشخصات نشر: تهران: پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۱.

مشخصات ظاهری: ۳۷۶ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک: ۲۰۰,۰۰۰ ریال: ۳-۱-۹۲۹۵۹-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: کتابخانه

موضوع: برق -- سیستم‌ها -- حفاظت

موضوع: راه‌های محافظ

شناسه افزوده: پژوهشگاه نیرو

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۱ ج۲ ح/TK1004

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۷

شماره کتابشناسی ملی: ۲۷۹۳۳۴۸

نام کتاب: حفاظت سیستم‌های قدرت

مؤلف: مهندس همایون حایری

ناشر: پژوهشگاه نیرو

چاپخانه: چاپ میران

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول / بهار ۱۳۹۱

قیمت: ۲۰۰,۰۰۰ ریال

شابک: ۳-۱-۹۲۹۵۹-۶۰۰-۹۷۸

پیشگفتار

شبکه‌های سراسری برق به عنوان یک زیرساخت حیاتی در جامعه و اقتصاد به شمار می‌روند. زیرساخت‌های حیاتی به زیرساخت‌هایی اطلاق می‌شود که در صورتی که خدمات آنها قطع شود، مردم و سازمان‌ها قادر نیستند زندگی خود را به روال معمول ادامه دهند. بنابراین، خدمات برق باید به شکلی ایمن، با کیفیت توافق شده و به صورت مداوم در اختیار مصرف‌کنندگان قرار بگیرد. شبکه‌های برق برای محقق ساختن چنین امر مهمی طراحی، احداث، راهبری و بهره‌برداری می‌شوند. باید در نظر داشت که شبکه‌های برق در زمره پیچیده‌ترین دستاوردهای بشری قرار دارند. عوامل این پیچیدگی عبارت‌اند از: تعدد عناصر شبکه در بخش‌های تأمین برق و مصرف برق، تعدد و درهم‌تنیدگی ارتباطات میان عناصر، پراکندگی جغرافیایی این عناصر، تنوع تکنولوژیک عناصر و سرعت شکل‌گیری پدیده‌ها و رویدادها در شبکه.

با توجه به فراوانی و اجتناب‌ناپذیر بودن وقوع اغتشاشات در شبکه‌های برق، این شبکه‌ها پیوسته در معرض خروج از شرایط عادی و قرار گرفتن در وضعیت ناپایدار هستند. این ناپایداری‌ها می‌توانند به سرعت باعث بروز ناامنی و حادثه برای عناصر شبکه، تأسیسات و تجهیزات مشترکان شوند، ولی مهم‌تر آن است که این ناپایداری‌ها و حوادث امکان بروز خاموشی‌های محدود یا گسترده را فراهم می‌آورند و هزینه‌های سنگینی را بر جامعه و اقتصاد ملی تحمیل می‌کنند. سیستم‌های حفاظت نقش بسیار مهمی در کاهش پیامدهای بروز ناپایداری‌ها و حوادث در شبکه‌های برق دارند.

حفاظت از شبکه‌های برق شاخه‌ای از مهندسی قدرت است که حفاظت شبکه‌ها و عناصر آن را در مقابل اغتشاشات و خطاهای پیش آمده در دستور کار خود دارد. هدف از طرح‌های حفاظتی در شبکه‌های برق حفاظت از عناصر شبکه، حفاظت از پایایی شبکه و همچنین، ایمنی عوامل انسانی است.

اگر چه حفاظت شبکه‌های برق شاخه‌ای از مهندسی قدرت محسوب می‌شود، ولی موضوعی چند رشته‌ای است که از دستاوردهای مهندسی کنترل الکترونیک، دیجیتال و مخابرات نیز استفاده می‌شود. بنابراین، شاخه‌ای بسیار پویاست که طرح‌ها و فناوری‌های آن دائماً در حال تحول است و کاربری آن هر روز ابعاد گسترده‌تری می‌یابد. از جمله مصادیق تحول در سیستم‌های حفاظت می‌توان به گذار از رله‌های مکانیکی و الکترومکانیکی به رله‌های هوشمند مبتنی بر ریزپردازنده‌ها اشاره کرد. امروزه، سیستم‌های حفاظت با نگاه تحلیل رفتاری شبکه‌های برق در مقابل انواع پدیده‌های ممکن و با اولویت قرار دادن حفظ پایداری و امنیت شبکه و همچنین، پیشگیری از رشد هر گونه اغتشاشی در شبکه، اهداف کامل‌تری را نسبت به گذشته دنبال می‌کنند و برای استعاب به این امر مهم، آشنایی کامل با دانش رله و حفاظت و شناخت عمیق علمی و تجربی از شبکه قدرت مورد نظر و تجهیزات اصلی آن (ترانسفورماتور، ژنراتور و ...) ضرورت اصلی است تا بتوان یک سیستم حفاظتی مطمئن، هماهنگ و اقتصادی را در شبکه قدرت اعمال کرد.

کتاب حاضر که حاصل ۱۷ سال تدریس اینجانب در زمینه رله و حفاظت در دانشگاه‌های امیرکبیر، خواجه نصیرالدین طوسی، تبریز و پژوهشگاه نیرو است، با همین نگاه تحلیل رفتاری به رشته تحریر درآمده است.

امیدوارم با عنایت و لطف خداوند بزرگ و متعال این توفیق را داشته باشم که مرجع قابل قبولی را برای موضوع درس رله و حفاظت به دانشجویان عزیز رشته برق - قدرت تقدیم کنم و همچنین، متخصصان گرامی فعال در این زمینه نیز بتوانند از این کتاب با انتخاب سیستم حفاظت صحیح و اعمال تنظیمات مناسب بر روی رله‌های حفاظتی به نحو مؤثری استفاده کنند. در اینجا لازم است از جناب آقای دکتر حامد ولی‌زاده حقی که در تهیه این کتاب زحمات زیادی را متقبل شدند و بدون همکاری ایشان تهیه این کتاب ممکن نبود و همچنین دفتر انتشارات پژوهشگاه نیرو تشکر و قدردانی کنم.

در فصل اول کتاب موضوع ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ که وظیفه تأمین مقادیر پارامترهای الکتریکی شبکه را در هر شرایطی، آنهم به‌طور دقیق برای رله‌های حفاظتی دارند، بیان شده است. در فصل دوم فیوز و هماهنگی آن و در انتهای فصل مذکور نیز راجع به ریکلوزر مواردی ذکر شده است. مباحث فصل سوم به کلیات رله‌های حفاظتی و انواع حفاظت جریان زیاد معمولی و جهت‌دار و هماهنگی رله‌های جریان زیاد در شبکه‌های شعاعی و حلقوی و دارای دو سطح ولتاژ مربوط می‌شود. در فصل چهارم کتاب موضوع رله‌های دیستانس، انواع آن و عوامل تأثیرگذار بر کارکرد حفاظت دیستانس (مقاومت قوس، اثر منابع تغذیه، جریان شده با خازن سری، تأثیرات اندوکتانس مقابل) و در نهایت، طرح‌های پیشرفته با استفاده از سیگنال‌های مخابراتی در حفاظت دیستانس شرح داده شده است.

فصل پنجم به بیان انواع حفاظت ژنراتور به‌طور کامل اختصاص یافته و دو حفاظت حساس و پیچیده قطع تحریک و لغزش قطب ژنراتور نیز به‌طور کامل توضیح داده شده است. فصل ششم مربوط به مباحث موتورهای الکتریکی و حفاظت‌های مربوط به آن است. در فصل هفتم درباره حفاظت ترانسفورماتور شامل انواع حفاظت‌ها، جریان هجومی در حفاظت ترانسفورماتور، اتصال زمین محدود، حفاظت ترکیبی و ... توضیح داده شده است. در فصل هشتم فلسفه حفاظت دیجیتال و ساختار رله‌های دیجیتالی بیان و در قسمت پایانی دو الگوریتم پیشرفته رله دیجیتال به‌طور کامل توضیح داده شده است. سرانجام، در فصل نهم حفاظت شبکه‌های تولید پراکنده و زیرشبکه شرح داده شده است.

شایان ذکر است که در انتهای هر فصل نیز تمرین‌هایی در ارتباط با موضوع فصل ارائه شده است.

همایون حایری

خرداد ماه ۱۳۹۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ	
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- تحلیل عملکرد حالت دایمی ترانسفورماتورهای جریان	۲
۱-۲-۱- محاسبه جریان خط	۵
۲-۲-۱- ضریب حد دقت	۷
۳-۱- تأثیر اندازه آمپراژ بر روی ضریب حد دقت	۹
۴-۱- تحلیل عملکرد حالت گذرای ترانسفورماتورهای جریان	۱۲
۱-۴-۱- حالت گذرای ترانسفورماتور جریان با فرض خطی بودن هسته	۱۲
۲-۴-۱- حالت گذرای ترانسفورماتور جریان با فرض اشباع هسته با هدف طراحی	۱۷
۵-۱- ترانسفورماتور ولتاژ	۲۰
۱-۵-۱- بررسی حالت گذرا در CCVT	۲۵
۲-۵-۱- پدیده فروزونانسی در CVT	۲۸
۶-۱- تمرین‌ها	۳۱
فصل دوم: فیوز	
۱-۲- مقدمه	۴۱
۲-۲- مشخصه‌های عملکرد فیوز حین وقوع خطا	۴۲
۳-۲- تعاریف استاندارد مربوط به فیوز	۴۸
۴-۲- برخی ملاحظات اولیه طراحی	۵۱
۱-۴-۲- انتخاب جریان نامی	۵۱
۲-۴-۲- انتخاب ولتاژ نامی و ظرفیت اتصال کوتاه	۵۱
۵-۲- هماهنگی فیوزها	۵۲
۱-۵-۲- استفاده از منحنی‌های جریان - زمان	۵۴
۲-۵-۲- استفاده از جدول هماهنگی	۵۵
۶-۲- ریکلوزر	۵۶
۱-۶-۲- استفاده از فیوز و ریکلوزر در بخش توزیع	۵۹
۲-۶-۲- هماهنگی فیوز با ریکلوزر با در نظر گرفتن خستگی فیوز	۶۰
۷-۲- سکشنالایزر	۶۱

عنوان

صفحه

۸-۲- تمرین‌ها.....	۶۲
فصل سوم: کلیات رله‌های حفاظتی و حفاظت جریان زیاد	
۱-۳- مقدمه.....	۶۵
۲-۲- تعاریف اولیه مرتبط با رله‌های حفاظتی.....	۶۶
۱-۲-۳- کلیات.....	۶۶
۲-۲-۳- ملاحظات مربوط به طراحی اصطلاحات متعارف در سیستم‌های حفاظتی.....	۷۰
۳-۲-۳- طرح سؤال.....	۷۳
۳-۳- رله‌های حفاظتی جریان زیاد.....	۸۳
۴-۳- اصول اولیه هماهنگی رله‌های جریان زیاد در شبکه.....	۹۱
۱-۴-۳- هماهنگی بر اساس تنظیمات جریانی.....	۹۲
۲-۴-۳- هماهنگی بر اساس تنظیمات زمانی.....	۹۳
۳-۴-۳- هماهنگی بر اساس زمان جریان: رله‌های معکوس زمانی.....	۹۴
۵-۳- محاسبات هماهنگی رله‌های جریان زیاد معکوس زمانی.....	۹۵
۱-۵-۳- تنظیم جریان پیک‌آپ رله.....	۹۵
۲-۵-۳- تنظیم شاخص زمانی (TMS).....	۹۷
۳-۵-۳- ملاحظات ویژه در هماهنگی‌های رله جریان زیاد.....	۱۰۹
۶-۳- رله‌های جریان زیاد جهت‌دار.....	۱۱۴
۱-۶-۳- اصول عملکرد عنصر جهت‌دار.....	۱۱۶
۲-۶-۳- جهت‌دار ساختن رله‌های زمین.....	۱۲۰
۳-۶-۳- هماهنگی رله‌های جریان زیاد جهت‌دار.....	۱۲۲
فصل چهارم: رله‌های دیستانس	
۱-۴- مقدمه.....	۱۲۷
۲-۴- اساس کار رله‌های دیستانس.....	۱۲۸
۳-۴- رله‌های امپدانسی جهت‌دار.....	۱۳۳
۴-۴- رله مهو.....	۱۳۶
۵-۴- رله راکتانسی.....	۱۳۷
۶-۴- رله‌ها با مشخصه‌های چند ضلعی.....	۱۳۷

صفحه	عنوان
۷-۴-۱۳۸	تعیین امیدانس تنظیم و زمان عملکرد رله‌های دیستانس
۷-۴-۱۴۳	تنظیمات پیشنهادی برای رله‌های دیستانس در کشور ایران
۸-۴-۱۴۵	کاربرد رله دیستانس
۸-۴-۱۴۷	خطاهای فازی
۸-۴-۱۴۹	خطاهای زمین
۹-۴-۱۵۲	عوامل تأثیرگذار بر حفاظت دیستانس
۹-۴-۱۵۲	تأثیر مقاومت قوس بر حفاظت دیستانس
۹-۴-۱۵۶	منابع تغذیه
۹-۴-۱۵۸	اثر خطوط خیران شده با خازن سری
۹-۴-۱۵۹	حفاظت دیستانس خطوط موازی مجاور
۱۰-۴-۱۷۱	طرح‌های پیشرفته در حفاظت دیستانس با استفاده از سیگنال‌های مخابراتی
۱۰-۴-۱۷۱	کاهش بُرد مجاز (PDR)
۱۰-۴-۱۷۲	افزایش بُرد مجاز (POR)
۱۱-۴-۱۷۳	تمرین‌ها
	فصل پنجم: حفاظت ژنراتور
۱-۵-۱۸۷	مقدمه
۲-۵-۱۸۸	حفاظت اتصال زمین روتور
۲-۵-۱۸۹	روش‌های مشخص کردن اتصال زمین روتور
۳-۵-۱۹۲	حفاظت اتصال زمین استاتور
۳-۵-۱۹۲	روش زمین کردن ژنراتور با استفاده از مقاومت
۳-۵-۱۹۳	روش زمین کردن از طریق ترانسفورماتور توزیع با مقاومت در ثانویه آن
۳-۵-۱۹۵	محاسبه مقاومت نصب شده در ثانویه ترانسفورماتور توزیع
۳-۵-۱۹۸	محدودیت حفاظت سیم‌پیچی استاتور
۳-۵-۲۰۰	حفاظت صد درصد سیم‌پیچی استاتور
۴-۵-۲۰۸	حفاظت جریان زیاد ژنراتور
۴-۵-۲۱۱	ثابت‌های زمانی
۴-۵-۲۱۲	محاسبات جریان‌های مختلف اتصال کوتاه

عنوان

صفحه

۳-۴-۵	تغییرات زمانی جریان‌های اتصالی کوتاه	۲۱۳
۴-۴-۵	مقادیر مؤثر جریان متناوب اتصال کوتاه	۲۱۴
۵-۴-۵	تنظیم رله جریان زیاد ژنراتور و انتخاب راکتانس مناسب برای تنظیم رله	۲۱۵
۶-۴-۵	نقش سیستم تنظیم‌کننده ولتاژ هنگام اتصال کوتاه	۲۱۶
۷-۴-۵	انواع رله‌های حفاظتی جریان زیاد ژنراتور	۲۱۷
۸-۴-۵	تنظیم زمان عملکرد رله‌های جریان زیاد ژنراتور	۲۲۰
۵-۵	حفاظت دیفرانسیل ژنراتور	۲۲۳
۱-۵-۵	روش بایاس در صدور	۲۲۴
۲-۵-۵	روش امیداندس بار	۲۲۶
۶-۵	حفاظت جریان‌های نامتقارن ژنراتور	۲۳۰
۱-۶-۵	جریان‌های نامتقارن ناشی از اتصالی‌های نامتقارن خارجی	۲۳۰
۲-۶-۵	جریان‌های نامتقارن ناشی از بار نامتقارن	۲۳۲
۳-۶-۵	فیلترهای مؤلفه منفی	۲۳۲
۴-۶-۵	فیلتر هسته آهنی مؤلفه منفی	۲۳۳
۵-۶-۵	مشخصات رله مؤلفه منفی	۲۳۵
۷-۵	حفاظت موتوری شدن ژنراتور	۲۳۷
۱-۷-۵	رله‌های توانی جهت‌دار	۲۳۹
۲-۷-۵	مشکلات حاصله از موتوری شدن ژنراتور	۲۴۱
۳-۷-۵	حساسیت رله‌های محافظ موتوری شدن	۲۴۳
۴-۷-۵	حفاظت مینیمم بار	۲۴۳
۸-۵	حفاظت اضافه ولتاژ ژنراتور	۲۴۵
۱-۸-۵	اضافه ولتاژ لحظه‌ای و آثار آن	۲۴۵
۲-۸-۵	اضافه ولتاژ ماندگار و آثار آن	۲۴۶
۳-۸-۵	نقش رله ولتاژ زیاد و تنظیم آن	۲۴۷
۹-۵	حفاظت شار زیاد	۲۴۷
۱۰-۵	حفاظت بار زیاد	۲۴۹
۱-۱۰-۵	روش R.T.D.	۲۴۹
۲-۱۰-۵	روش رله اضافه بار	۲۵۰

عنوان

صفحه

۳-۱۰-۵	رابطه بین جریان ورودی به رله، جریان تنظیم رله و زمان کارکرد آن.....	۲۵۰
۱۱-۵	حفاظت لغزش قطب.....	۲۵۱
۱-۱۱-۵	حالت‌های از سنکرون خارج شدن.....	۲۵۲
۱-۵	اثرهای خارج از سنکرون شدن بر روی ژنراتور در حال کار.....	۲۵۳
۳-۱۱-۵	تغییرات جریان، ولتاژ و امپدانس دیده شده توسط رله.....	۲۵۳
۴-۱۱-۵	مکان هندسی لغزش قطب.....	۲۵۸
۵-۱۱-۵	نمونه‌هایی از رله حفاظتی لغزش قطب.....	۲۵۹
۶-۱۱-۵	عین زمان تنظیم برای مشخصه رله.....	۲۶۱
۱۲-۵	حفاظت قطع تحریک ژنراتور.....	۲۶۲
۱-۱۲-۵	مشکلات ناشی از قطع تحریک.....	۲۶۳
۲-۱۲-۵	شرایط پیش آمده در قطع تحریک.....	۲۶۴
۳-۱۲-۵	رله حفاظت قطع تحریک.....	۲۶۵
۴-۱۲-۵	به دست آوردن مقدار مناسب قطر دایره مشخصه امپدانس رله.....	۲۶۶
۵-۱۲-۵	رله قطع تحریک با دو دایره مشخصه.....	۲۶۷
۱۳-۵	حفاظت امپدانس کم ژنراتور.....	۲۶۸
۱-۱۳-۵	کاربرد رله امپدانس کم به صورت حفاظت پشتیبانی.....	۲۶۹

فصل ششم: حفاظت موتورهای الکتریکی

۱-۶	مقدمه.....	۲۷۳
۲-۶	حفاظت بار زیاد.....	۲۷۷
۳-۶	حفاظت مؤلفه ترتیب منفی.....	۲۸۲
۴-۶	حفاظت استاتور و روتور.....	۲۸۴
۵-۶	حفاظت در مقابل آسیب یاتاقان‌ها.....	۲۸۶
۶-۶	حفاظت ولتاژ کم.....	۲۸۶
۷-۶	تمرین‌ها.....	۲۸۷

فصل هفتم: حفاظت ترانسفورماتور

۱-۷	مقدمه.....	۲۹۳
۲-۷	خطاهای سیم‌پیچی.....	۲۹۵

عنوان

صفحه

۲۹۵	۱-۲-۷- آرایش ستاره زمین شده با امیدانس
۲۹۶	۲-۲-۷- آرایش ستاره با زمین مستقیم
۲۹۷	۳-۲-۷- آرایش مثلث
۲۹۹	۴-۲-۷- خطاهای فاز به فاز
۲۹۹	۵-۲-۷- اتصال حلقه
۳۰۰	۶-۲-۷- خطای هسته
۳۰۳	۷-۲-۷- خطاهای دارای منشأ خارجی
۳۰۵	۳-۷- جریان هجومی
۳۰۷	۱-۳-۷- طیف هارمونیکی شکل موج جریان هجومی
۳۱۰	۴-۷- حفاظت جریان زیاد
۳۱۲	۵-۷- حفاظت اتصال زمین محدود
۳۱۲	۱-۵-۷- حفاظت اتصال زمین محدود در ترانسفورماتورهای با نقطه نول در دسترس
۳۱۳	۲-۵-۷- حفاظت اتصال زمین محدود در ترانسفورماتورهای بدون نقطه نول
۳۱۵	۶-۷- حفاظت دیفرانسیل
۳۱۷	۷-۷- حفاظت ترکیبی دیفرانسیل و اتصال زمین محدود
۳۱۹	۸-۷- تمرین‌ها
	فصل هشتم: رله‌های دیجیتال
۳۲۹	۱-۸- مقدمه
۳۳۰	۲-۸- ساختار سخت‌افزاری رله دیجیتالی
۳۳۱	۱-۲-۸- ترانسدیوسر
۳۳۱	۲-۲-۸- تقویت‌کننده‌های نگهدارنده و نمونه‌بردار
۳۳۲	۳-۲-۸- مالتی پلکسرها
۳۳۳	۴-۲-۸- پنجره‌های نمونه‌برداری در A/D
۳۳۵	۳-۸- پردازش سیگنال دیجیتال
۳۳۵	۱-۳-۸- نمونه‌برداری
۳۳۷	۴-۸- الگوریتم‌های پیشرفته رله‌های دیجیتالی
۳۳۸	۱-۴-۸- روش معادله دیفرانسیل

عنوان	صفحه
۸-۴-۲- تبدیل گسسته فوریه (DFT).....	۳۴۳
۸-۴-۳- استخراج مؤلفه‌های فرکانس هارمونی اصلی.....	۳۴۴
۸-۴-۴- الگوریتم DFT با پنجره اطلاعاتی سیکل کامل.....	۳۴۵
۸-۴-۵- الگوریتم DFT با پنجره اطلاعاتی نیم سیکل.....	۳۴۵
۸-۴-۶- محاسبه امیدانسی ظاهری.....	۳۴۶
فصل نهم: حفاظت شبکه‌های حاوی تولید پراکنده و ریزشبکه‌ها	
۹-۱- مقدمه.....	۳۵۱
۹-۲- مشکلات حفاظتی شبکه‌های توزیع حاوی تولید پراکنده و ریزشبکه‌ها.....	۳۵۲
۹-۲-۱- تغییرات جهت جریان.....	۳۵۳
۹-۲-۲- تغییرات دامنه جریان.....	۳۵۴
۹-۲-۳- کاهش بُرد رله‌های دیستانس.....	۳۵۷
۹-۲-۴- تأثیر توان دو جهته بر پروفیل ولتاژ خط.....	۳۵۸
۹-۲-۵- جزیره‌ای شدن ریزشبکه‌ها و منابع تولید پراکنده.....	۳۵۹
۹-۳- حفاظت ضد جزیره‌ای شدن تولید پراکنده.....	۳۶۶
۹-۳-۱- حفاظت موضعی ضد جزیره‌ای برای تولیدهای پراکنده.....	۳۶۶
۹-۳-۲- رله فرکانسی.....	۳۶۷
۹-۳-۳- نرخ تغییرات فرکانس.....	۳۶۸
۹-۳-۴- رله جابجایی فاز.....	۳۶۹
منابع.....	۳۷۳

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- مدار معادل ترانسفورماتور جریان در حالت دایمی	۳
شکل ۲-۱- دیاگرام فازوری ترانسفورماتور جریان در مدل‌سازی حالت دایمی	۴
شکل ۳-۱- مدار معادل تقریبی ترانسفورماتور جریان در طرف ثانویه	۶
شکل ۴-۱- تعریف نقطه زانویی	۸
شکل ۵-۱- نقاط عملکرد ترانسفورماتور جریان به ازای بار نامی و غیر نامی	۱۱
شکل ۶-۱- مدار معادل حلقه اتصال کوتاه	۱۲
شکل ۷-۱- مدار معادل ترانسفورماتور جریان در حال گذرا	۱۴
شکل ۸-۱- جریان‌های اولیه و ثانویه و چگالی شار هسته ترانسفورماتور جریان با پارامترهای مثال ۱-۱	۱۷
شکل ۹-۱- منحنی تحریک مغناطیسی	۲۰
شکل ۱۰-۱- مدار معادل مقسم غازی	۲۱
شکل ۱۱-۱- مدار معادل تشدید	۲۲
شکل ۱۲-۱- مدار معادل و اتصالات CVT	۲۳
شکل ۱۳-۱- مدار معادل CCVT در حالت گذرا	۲۵
شکل ۱۴-۱- مدار معادل تقریبی فرکانس پایین	۲۶
شکل ۱۵-۱- مدار معادل ساده شده CCVT	۲۹
شکل ۱۶-۱- پدیده فروزونانس در CCVT	۲۹
شکل ۱۷-۱- مشخصه مغناطیس ترانسفورماتور جریان نوعی	۳۳
شکل ۱۸-۱- مدار معادل تمرین ۳-۱	۳۴
شکل ۱۹-۱- مربوط به تمرین ۵-۱	۳۷
شکل ۲۰-۱- مدار معادل ترانسفورماتور جریان با انتقال به سمت ثانویه (تمرین ۷-۱)	۳۹
شکل ۲۱-۱- دیاگرام تک‌خطی سیستم تمرین ۷-۱ و مدار معادل آن	۴۰
شکل ۱-۲- فیوز قدرت	۴۱
شکل ۲-۲- عملکرد قطع جریان خط توسط فیوز	۴۴
شکل ۳-۲- جریان گذرنده از فیوز لحظات قبل و بعد از ایجاد قوس	۴۵
شکل ۴-۲- رفتار فیوز در مقابل اضافه بار	۴۵
شکل ۵-۲- نمونه‌هایی از انواع المان فیوز	۴۵

عنوان

صفحه

شکل ۲-۶- مدار معادل شبکه و فیوز بعد از ایجاد قوس.....	۴۶
شکل ۲-۷- تغییرات ولتاژ قوس متناظر با تغییرات جریان عبوری از فیوز.....	۴۷
شکل ۲-۸- تعاریف جریان حداقل، نامی و آستانه.....	۴۹
شکل ۲-۹- هماهنگی زمانی - جریانی بین مشخصه فیوز و موتور القایی.....	۵۰
شکل ۲-۱۰- جریان حداکثر فیوز معادل پیک جریان محدود شده.....	۵۰
شکل ۲-۱۱- نمونه منحنی‌های TCC فیوز معمولی.....	۵۲
شکل ۲-۱۲- عملکرد گزینندگی حفاظت جریان زیاد توسط فیوز.....	۵۳
شکل ۲-۱۳- هماهنگی گزینشی بین دو فیوز معمولی.....	۵۴
شکل ۲-۱۴- اصل هماهنگی بین دو فیوز.....	۵۵
شکل ۲-۱۵- مشخصات جریان زمان ریکلوزر.....	۵۷
شکل ۲-۱۶- عملکرد زمانی ریکلوزر.....	۵۸
شکل ۲-۱۷- استفاده از ریکلوزر در شبکه توزیع.....	۵۹
شکل ۲-۱۸- هماهنگی ریکلوزر و فیوز سمت بار.....	۶۱
شکل ۲-۱۹- قرارگیری سکشنالایزر نسبت به ریکلوزر.....	۶۲
شکل ۲-۲۰- داده‌های فیوز مربوط به تمرین ۲-۱.....	۶۲
شکل ۳-۱- لزوم کارکرد گزینشی رله حفاظتی در خصوص خطاهای واقع در مرز ناحیه حفاظتی.....	۶۶
شکل ۳-۲- روند نمای فرایند صدور فرمان توسط رله.....	۶۷
شکل ۳-۳- عناصر عملکرد رله‌های حفاظتی.....	۶۷
شکل ۳-۴- اتصالات معمول تک‌خطی رله حفاظتی و مدار DC صدور فرمان.....	۶۹
شکل ۳-۵- دیاگرام تک‌خطی نشان‌دهنده ناحیه‌های حفاظتی.....	۷۳
شکل ۳-۶- سؤال (۴) مشخص کردن نواحی حفاظتی.....	۷۸
شکل ۳-۷- سؤال (۵) اثرهای تغییر پیکربندی شبکه.....	۷۹
شکل ۳-۸- رابطه بین هزینه کل، قابلیت اطمینان عناصر شبکه و هزینه تجهیزات حفاظتی و نقطه بهینه.....	۸۱
شکل ۳-۹- رله جریان زیاد بر اساس ایده دیسک القایی.....	۸۴
شکل ۳-۱۰- نمونه‌ای از مشخصه‌های رله جریان زیاد معکوس زمانی.....	۸۶
شکل ۳-۱۱- منحنی‌های مشخصه جریان - زمان رله معکوس زمانی استاندارد IDMT.....	۸۸

شکل ۱۲-۳	منحنی‌های مشخصه رله‌های جریان زیاد برای هماهنگی عملکرد آنها	۹۱
در شبکه		
شکل ۱۳-۳	نمایشی از سطوح مختلف جریان خطا	۹۲
شکل ۱۴-۳	حاشیه اطمینان در جه‌بندی و منحنی عملکرد هماهنگ دو رله در طول یک	
فیدر		۹۸
شکل ۱۵-۳	منحنی‌های رله جریان زیاد مطابق استانداردهای IEC و ANSI/IEEE	۱۰۱
شکل ۱۶-۳	شبکه مربوط به مثال (۱-۳)	۱۰۲
شکل ۱۷-۳	منحنی‌های مشخصه رله بی‌نیهایت معکوس CDG14	۱۰۴
شکل ۱۸-۳	هماهنگی انجام شده در مثال (۱-۳)	۱۰۵
شکل ۱۹-۳	شبکه مربوط به مثال (۲-۱)	۱۰۶
شکل ۲۰-۳	منحنی زمان - جریان رله استفاده شده در مثال (۲-۳)	۱۰۶
شکل ۲۱-۳	مدار معادل شبکه برای محاسبات جریان خطا برای دو نوع اتصال کوتاه	۱۱۰
شکل ۲۲-۳	توزیع جریان خطا در ترانسفورماتورهای Dy0	۱۱۲
شکل ۲۳-۳	هماهنگی رله‌های جریان زیاد با وجود ترانسفورماتور Dy	۱۱۳
شکل ۲۴-۳	مدار حلقوی و شعاعی نمونه برای بررسی رله‌های جریان زیاد جهت‌دار	۱۱۴
شکل ۲۵-۳	کاربرد رله‌های جریان زیاد جهت‌دار	۱۱۵
شکل ۲۶-۳	رله‌های کنترل جهت‌دار در مقایسه با رله‌های جریان زیاد جهت‌دار	۱۱۶
شکل ۲۷-۳	بردارهای مؤثر در تولید گشتاور عمل‌کننده در رله جریان زیاد جهت‌دار	۱۱۸
شکل ۲۸-۳	اتصالات مناسب رله‌های فازی جهت‌دار	۱۱۹
شکل ۲۹-۳	دیاگرام برداری اتصال 90° (MTA معادل با 30°)	۱۲۰
شکل ۳۰-۳	قطبی‌سازی ولتاژی توسط PT	۱۲۱
شکل ۳۱-۳	قطبی‌سازی جریانی	۱۲۱
شکل ۳۲-۳	مدار حلقوی با تغذیه منفرد دارای رله‌های جهت‌دار جریان زیاد	۱۲۲
شکل ۳۳-۳	شبکه حلقوی دو سو تغذیه	۱۲۴
شکل ۳۴-۳	جریان دیده شده توسط رله‌های «۱» و «۴» برای خطاهای بین R و Q	۱۲۵
شکل ۱-۴	شبیه‌سازی مکانیکی اساس کارکرد رله دیستانس و ایجاد نسبت بین	
ولتاژ و جریان		۱۲۸
شکل ۲-۴	حفاظت دیستانس خط بین G و H	۱۲۹

صفحه

عنوان

- شکل ۴-۳- مدار معادل شبکه برای یک خط حفاظت شده ۱۳۱
- شکل ۴-۴- مشخصه رله دیستانس امپدانس ۱۳۲
- شکل ۴-۵- نمونه‌ای از پله‌های زمانی و نواحی حفاظت امپدانس برای رله‌های دیستانس ۱۳۴
- شکل ۴-۶- مشخصه‌های کارکردی نواحی حفاظتی مختلف رله امپدانس جهت‌دار ۱۳۵
- شکل ۴-۷- اتصالات مدار فرمان رله امپدانس شکل ۴-۶ به‌طور ساده شده ۱۳۵
- شکل ۴-۸- مشخصه عملکرد رله مهو ۱۳۶
- شکل ۴-۹- مشخصه رله راکتانس ۱۳۷
- شکل ۴-۱۰- مشخصه رله‌های چند ضلعی ۱۳۸
- شکل ۴-۱۱- نواحی حفاظتی و زمان‌های کارکرد رله دیستانس در یک شبکه شعاعی با توجه به مشخصه نشان داده شده در شکل ۴-۱۲ ۱۴۰
- شکل ۴-۱۲- مشخصه عملکرد ناحیه‌ای رله دیستانس واقع در نقطه A ۱۴۰
- شکل ۴-۱۳- شماتیک اتصالات مدار منطقی یک رله دیستانس ۱۴۲
- شکل ۴-۱۴- امپدانس‌های درگیر در حفاظت دیستانس ۱۴۵
- شکل ۴-۱۵- ارتباط بین جریان‌ها و ولتاژها در شاخه خط‌دار برای خطاهای مختلف ۱۴۶
- شکل ۴-۱۶- جبران‌ساز خطای زمین ۱۵۰
- شکل ۴-۱۷- بررسی یک رله امپدانس و عدم تحریک آن برابر مقاومت قوس (Underreach) ۱۵۳
- شکل ۴-۱۸- اثر مقاومت قوس در صفحه امپدانس $R-X$ ۱۵۴
- شکل ۴-۱۹- کاهش بُرد رله مهو ناشی از مقاومت قوس ۱۵۶
- شکل ۴-۲۰- تغذیه محل خطا به وسیله دو منبع ۱۵۷
- شکل ۴-۲۱- نحوه قرار گرفتن خازن سری در خط و تأثیر آن بر مشخصه امپدانس خط به‌طور کلی ۱۵۹
- شکل ۴-۲۲- تزویج مدار مؤلفه صفر خطوط هوایی ۱۶۱
- شکل ۴-۲۳- امپدانس‌های ترتیب صفر خطوط انتقال دو مداره ۱۶۲
- شکل ۴-۲۴- خطوط هوایی موازی ۱۶۲
- شکل ۴-۲۵- اندازه‌گیری Z_{0L} و Z_{0M} ۱۶۳
- شکل ۴-۲۶- اندازه‌گیری دیستانس در خطوط موازی ۱۶۴
- شکل ۴-۲۷- خطای تک فاز به زمین روی خط دو مداره با منبع منفرد ۱۶۶

عنوان

صفحه

شکل ۴-۲۸- امیدانس‌های معمول برای خط دو مداره ۴۰۰ کیلوولت.....	۱۶۷
شکل ۴-۲۹- خطای اندازه‌گیری رله دیستانس برای خط دو مداره مثال «۴-۲».....	۱۶۸
شکل ۴-۳۰- خطای زمین روی خط دو مداره و خطای اندازه‌گیری رله دیستانس با وجود منبع.....	۱۶۹
شکل ۴-۳۱- حفاظت دیستانس خطوط موازی و وابستگی به شرایط کلیدزنی.....	۱۷۰
شکل ۴-۳۲- حفاظت دیستانس با کاهش بُرد.....	۱۷۲
شکل ۴-۳۳- حفاظت دیستانس با افزایش بُرد.....	۱۷۳
شکل ۴-۳۴- سیستم مربوط به تمرین (۴-۱).....	۱۷۴
شکل ۴-۳۵- سیستم مربوط به تمرین (۴-۲).....	۱۷۵
شکل ۴-۳۶- تنظیمات رله دیستانس خط مربوط به تمرین (۴-۳).....	۱۷۷
شکل ۴-۳۷- مدار معادل تمرین (۴-۵).....	۱۸۰
شکل ۴-۳۸- دیاگرام R-X برای دو نوع رله مربوط به تمرین (۴-۷).....	۱۸۳
شکل ۴-۳۹- دیاگرام تک‌خطی مربوط به تمرین (۴-۸).....	۱۸۴
شکل ۴-۴۰- مدار معادل ترتیب صفر، مثبت و منفی مربوط به شکل ۴-۳۹.....	۱۸۵
شکل ۴-۴۱- مدار معادل اتصالی مربوط به تمرین (۴-۸).....	۱۸۶
شکل ۵-۱- روش تزریق جریان مستقیم.....	۱۹۰
شکل ۵-۲- روش پتانسیومتری در طراحی حفاظت اتصال زمین سه‌فاز.....	۱۹۱
شکل ۵-۳- زمین کردن ژنراتور با استفاده از مقاومت.....	۱۹۳
شکل ۵-۴- زمین کردن با استفاده از ترانسفورماتور.....	۱۹۴
شکل ۵-۵- اتصال فاز به زمین در یک ژنراتور.....	۱۹۵
شکل ۵-۶- مدار معادل اتصال فاز به زمین شکل ۵-۵.....	۱۹۵
شکل ۵-۷- مدار معادل مربوط به مؤلفه صفر شکل ۵-۵.....	۱۹۶
شکل ۵-۸- دیاگرام تک‌خطی سیستم مورد مطالعه.....	۱۹۹
شکل ۵-۹- مدار معادل مؤلفه صفر یک اتصال زمین در طرف فشارقوی ترانسفورماتور واحد.....	۱۹۹
شکل ۵-۱۰- مدار معادل ساده شده سیستم مورد مطالعه.....	۱۹۹
شکل ۵-۱۱- لزوم حفاظت ۱۰۰ ژنراتور.....	۲۰۱
شکل ۵-۱۲- شماتیک حفاظتی ژنراتور به همراه حفاظت صددرصد.....	۲۰۳
شکل ۵-۱۳- خازن‌های پارازیتی نسبت به زمین مرتبط با ژنراتور.....	۲۰۴

صفحه

عنوان

۲۰۵	شکل ۵-۱۴- توزیع ولتاژ هارمونیک سوم
۲۰۶	شکل ۵-۱۵- دیاگرام فازوری ولتاژ هارمونیک سوم
۲۰۷	شکل ۵-۱۶- تعیین مقدار سیم‌پیچی حفاظت شده ژنراتور در مثال ۵-۱
۲۰۹	شکل ۵-۱۷- جریان اتصال کوتاه در شبکه یا خروجی ژنراتور
۲۱۱	شکل ۵-۱۸- حالت گذرای جریان اتصال ژنراتور
۲۱۳	شکل ۵-۱۹- دیاگرام برداری مؤلفه‌های حالت گذرای ژنراتور
	شکل ۵-۲۰- عملکرد تنظیم‌کننده ولتاژ بر روی جریان اتصال سه فاز در خروجی یک ژنراتور بدون بار
۲۱۷	
۲۱۸	شکل ۵-۲۱- مشخصه‌های انواع رله‌های جریان زیاد ژنراتور
۲۲۰	شکل ۵-۲۲- هماهنگی رله‌های جریان زیاد ژنراتور
۲۲۲	شکل ۵-۲۳- دیاگرام برداری مربوط به مثال ۵-۳
۲۲۳	شکل ۵-۲۴- نحوه توزیع ولتاژها در حفاظت دیفرانسیل ژنراتور
۲۲۴	شکل ۵-۲۵- اصول حفاظت بایاس درصدی
۲۲۵	شکل ۵-۲۶- مشخصه رله دیفرانسیل در روش بایاس درصدی
۲۲۷	شکل ۵-۲۷- تنظیم رله دیفرانسیل امپدانس بالا
۲۲۹	شکل ۵-۲۸- مثال (۵-۳)
۲۳۳	شکل ۵-۲۹- نمونه فیلتر مؤلفه منفی
۲۳۳	شکل ۵-۳۰- دیاگرام برداری مربوط به مدار شکل (۵-۲۹)
۲۳۵	شکل ۵-۳۱- فیلتر هسته آهنی مؤلفه منفی
۲۳۶	شکل ۵-۳۲- مشخصه رله و ظرفیت حرارتی ماشین
۲۳۷	شکل ۵-۳۳- مشخصه‌های رله در مقابل جریان مؤلفه منفی
۲۳۸	شکل ۵-۳۴- مشخصه عملکرد رله مربوط به حفاظت موتوری شدن ژنراتور
۲۳۹	شکل ۵-۳۵- رله توانی
۲۴۰	شکل ۵-۳۶- دیاگرام برداری عملکرد رله توانی
۲۴۱	شکل ۵-۳۷- دیاگرام برداری رله توانی ژنراتور
۲۵۴	شکل ۵-۳۸- امپدانس دیده شده در صفحه R-X
۲۵۴	شکل ۵-۳۹- قراردادهای علامت در صفحه R-X

صفحه

عنوان

شکل ۵-۴۰- سیستم نمونه برای نشان دادن تغییرات جریان، ولتاژ و امپدانس دیده شده به‌وسیله رله حفاظت لغزش قطب.....	۲۵۵
شکل ۵-۴۱- تغییرات ولتاژ دیده شده به‌وسیله رله حفاظت لغزش قطب ژنراتور با توجه به شکل (۵-۲۸).....	۲۵۷
شکل ۵-۴۲- محاسبه حداکثر جریان نامی.....	۲۵۸
شکل ۵-۴۳- استفاده از رله‌های اهمی در حفاظت لغزش قطب ژنراتور.....	۲۶۰
شکل ۵-۴۴- استفاده از مدل لenz در رله حفاظت لغزش قطب.....	۲۶۱
شکل ۵-۴۵- زمانی تنظیم مشخصه رله لغزش قطب.....	۲۶۲
شکل ۵-۴۶- مشخصه‌های امپدانسی برای بررسی حفاظت قطع تحریک.....	۲۶۴
شکل ۵-۴۷- حفاظت قطع تحریک.....	۲۶۶
شکل ۵-۴۸- حفاظت قطع تحریک با محدوداره مشخصه مهو.....	۲۶۸
شکل ۵-۴۹- مشخصه حفاظت امپدانس کم ژنراتور.....	۲۶۹
شکل ۶-۱- مشخصه‌های نوعی موتورهای القایی در کاربرد حفاظتی.....	۲۷۶
شکل ۶-۲- نحوه قرارگیری مشخصه‌های رله اتصال و رله معکوس زمانی در کنار منحنی گرمایی موتور.....	۲۸۰
شکل ۶-۳- حفاظت بار زیاد موتور و مقایسه شرایط اضافه بار بک، متوسط و سنگین.....	۲۸۱
شکل ۶-۴- مدار معادل موتور القایی.....	۲۸۳
شکل ۶-۵- هماهنگی حفاظتی برای موتور.....	۲۸۵
شکل ۶-۶- حفاظت موتور hp 2000.....	۲۸۸
شکل ۶-۷- مشخصه‌های رله جریان زیاد مربوط به تمرین (۶-۱).....	۲۸۹
شکل ۶-۸- حفاظت موتور ۷۵۰۰ اسب مربوط به تمرین (۶-۲).....	۲۹۰
شکل ۶-۹- سیستم جانبی نیروگاه مربوط به تمرین (۶-۳).....	۲۹۲
شکل ۷-۱- انواع متداول اتصال ترانسفورماتور به شبکه.....	۲۹۴
شکل ۷-۲- جریان خطای زمین مربوط به آرایش ستاره زمین شده با مقاومت.....	۲۹۶
شکل ۷-۳- جریان خطای زمین مربوط به آرایش ستاره با زمین مستقیم.....	۲۹۷
شکل ۷-۴- تغییرات جریان خطا مربوط به آرایش مثلث زمین شده با مقاومت.....	۲۹۸
شکل ۷-۵- جریان اتصال حلقه، نسبت به تعداد حلقه اتصال کوتاه شده.....	۳۰۰
شکل ۷-۶- رله حفاظتی بوخه‌لتنس.....	۳۰۱

عنوان

صفحه

- شکل ۷-۷- شرایط عملکرد رله بوخه‌لتس ۳۰۲
- شکل ۸-۷- حالت کار عادی و پدیده جریان هجومی در ترانسفورماتور ۳۰۶
- شکل ۹-۷- پدیده جریان هجومی در ترانسفورماتور ۳۰۷
- شکل ۱۰-۷- جریان هجومی نوعی از ترانسفورماتور ۳۰۸
- شکل ۱۱-۷- شکل موج جریان هجومی به صورت ساده شده ۳۰۹
- شکل ۱۲-۷- هماهنگی رله جریان زیاد ترانسفورماتور با حفاظت جریان زیاد فیدر ۳۱۱
- شکل ۱۳-۷- حفاظت اتصال زمین محدود برای سیم‌پیچی ستاره ۳۱۲
- شکل ۱۴-۷- ترانسفورماتور زمین ۳۱۴
- شکل ۱۵-۷- حفاظت اتصال زمین محدود برای ترانسفورماتورهای بدون نقطه نول ۳۱۴
- شکل ۱۶-۷- حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور ۳۱۵
- شکل ۱۷-۷- منحنی مشخصه رله دیفرانسیل درصدی ترانسفورماتور ۳۱۷
- شکل ۱۸-۷- مقدار سیم‌پیچی حفاظت شده ۳۱۸
- شکل ۱۹-۷- حفاظت ترکیبی ترانسفورماتور ۳۱۹
- شکل ۲۰-۷- اصول هماهنگی حفاظت ترانسفورماتور توسط فیدر ۳۲۰
- شکل ۲۱-۷- حفاظت جریان زیاد ترانسفورماتور ۳۲۱
- شکل ۲۲-۷- اتصالات رله دیفرانسیل مربوط به تمرین (۶-۷) ۳۲۶
- شکل ۲۳-۷- مقادیر جریان محاسبه شده در تمرین (۶-۷) ۳۲۷
- شکل ۱-۸- طرح عمومی سخت افزار یک رله دیجیتال ۳۳۰
- شکل ۲-۸- تقویت کننده S/H ۳۳۲
- شکل ۳-۸- مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال رله ۳۳۳
- شکل ۴-۸- پنجره داده برای نمونه برداری ۳۳۴
- شکل ۵-۸- پدیده تشابه در سیگنال‌های نمونه برداری شده ۳۳۶
- شکل ۶-۸- بلوک دیاگرام رله دیجیتال ۳۳۸
- شکل ۷-۸- فلوچارت برنامه محاسبه X و R ۳۴۱
- شکل ۸-۸- حذف هارمونیک‌ها با تعیین انتگرال گیری ۳۴۲
- شکل ۹-۸- فلوچارت برنامه محاسبه R و X ۳۴۹
- شکل ۱-۹- امکان تغییر جهت تغذیه جریان در حالت اتصال کوتاه با وجود تولید پراکنده ۳۵۴
- شکل ۲-۹- عدم تشخیص رله جریان زیاد با وجود تولید پراکنده و ایجاد مسیر موازی ۳۵۵

صفحه

عنوان

۳۵۷	شکل ۹-۳- اثر تولید پراکنده بر روی هماهنگی فیوزها
۳۵۸	شکل ۹-۴- اثر تولید پراکنده بر روی کارکرد رله دیستانس
۳۶۰	شکل ۹-۵- تغییر جهت گرادیان ولتاژ در فیدر توزیع ناشی از حضور تولید پراکنده
۳۶۱	شکل ۹-۶- جزیره‌ای شدن و اتصال مجدد تولید پراکنده به سیستم توزیع
۳۶۸	شکل ۹-۷- رله ROCOF نسبت به رله فرکانسی حساس‌تر است
۳۷۰	شکل ۹-۸- مدل ژنراتور سنکرون و دیاگرام فازوری آن در حالت عادی
۳۷۰	شکل ۹-۹- مدل مداری ژنراتور سنکرون و دیاگرام فازوری آن در حالت جزیره‌ای

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۵۶	جدول ۱-۲- حداکثر جریان خطا به منظور هماهنگی بین فیوزهای کلاس K (تندکار).....
۶۴	جدول ۲-۲- جریان نامی فیوزهای EEI-NEMA.....
۹۰	جدول ۱-۳- نمونه‌هایی از پارامترهای رله جریان زیاد معکوس زمانی.....
	جدول ۲-۳- ضرایب ثابت معادله عملکرد رله‌ها مطابق با استانداردهای ANSI/IEEE و
۱۰۲	IEC.....
۱۱۳	جدول ۳-۳- خلاصه وضعیت‌های خطا برای ترانسفورماتور Dy.....
۱۴۷	جدول ۱-۴- جریان‌ها و ولتاژهای فازی در نقطه رله برای خطاهای فازی.....
۱۵۲	جدول ۲-۴- جریان‌ها و ولتاژهای ورودی به رله دیستانس.....
۳۰۴	جدول ۱-۷- حد تحمل جریان اتصال کوتاه خارجی توسط ترانسفورماتور IEC60076.....
۳۱۰	جدول ۲-۷- هارمونیک‌های جریان همجوشی شکل (۷-۱۱).....