

۱۴۴۱.۹۷

ساختار و منطق رله‌های حفاظتی دیجیتال

(جلد اول)

مهندس محمد رضائی، دکتر لوئی، دکتر علی محمد رنجبر

با همکاری

مهندس رضا فضایی، مهندس محمد علی ارچناکیان



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

ساختار و منطق رله‌های دیجیتال

تألیف محمد رضائی جگرونی، علی محمد نجبر، رضا فضایی، محمدعلی فرحناکیان
مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۰۰۰

بها: ۲۰۰۰۰۰ ریال

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.
ویرایش و آماده‌سازی متن کتاب را مؤلفان انجام داده‌اند.

ISBN 978-964-208-149-3

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۴۹-۳

تلفن: ۰۲۱-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۰۱۳۱۱

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب - خیابان شهید منیرى جاوید (آردیبهشت) - ساختمان بهمن - طبقه چهارم - واحد ۴۰۲

پست الکترونیکی: publishing@sharif.edu

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۲-۶۶۹۶۷۸۹۶

فروش اینترنتی: www.fardabook.com

موضوع: برق - سیستم - حفاظت.

موضوع: نیروگاه‌های برق - حفاظت

شناسه افزوده: رضائی جگرونی، محمد ۱۳۶۶.

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۴ س/۲۸۶۱ TK.

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۷

شماره کتابشناسی ملی: ۴۰۲۸۳۹۱

سرشناسه: محمد رضائی جگرونی، ... [و دیگران].

عنوان و نام‌پدیدآور: ساختار و منطق رله‌های حفاظتی دیجیتال / تألیف محمد رضائی

جگرونی، علی محمد نجبر، رضا فضایی، محمدعلی فرحناکیان.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۴.

مشخصات ظاهری: ۳۱۸ ص. مصور، جدول.

شابک: 978-964-208-149-3

وضعیت فهرست نویسی: قیفا.

موضوع: رله‌های محافظ.

به نام خالق یکتا

فهرست مطالب

یازده	پیش گفتار
۱	فصل ۱ ساختار کلی رله‌های دیجیتال
۲	۱-۱ عملکرد کلی رله‌های دیجیتال
۵	۲-۱ بررسی ساختارهای آنالوگ ولتاژ و جریان
۷	۳-۱ برد پردازنده اصلی
۱۶	۴-۱ برد دریافت اطلاعات باینری ورودی
۲۰	۵-۱ بردهای ایجاد اطلاعات باینری خروجی
۲۳	۶-۱ برد برقرارکننده ارتباطات رله
۲۷	۷-۱ برد تغذیه
۲۷	۸-۱ ساختار کلی برنامه‌نویسی در رله‌های دیجیتال
۳۰	۹-۱ نحوه فراخوانی فانکشن‌های مختلف در رله
۳۳	فصل ۲ فانکشن‌های تشخیص‌دهنده و سرویس‌دهنده
۳۴	۱-۲ نحوه ارسال دستور قطع و وصل به کلید قدرت
۳۴	۱-۱-۲ قطع و وصل کلید قدرت
۳۵	۲-۱-۲ ارسال دستور قطع و وصل از رله به کلید قدرت
۳۸	۲-۲ بررسی صحت مدار تحریک سیم‌پیچ‌های کلید قدرت
۳۸	۱-۲-۲ چگونگی عملکرد
۴۰	۲-۲-۲ منطق بررسی صحت مدار تغذیه سیم‌پیچ‌های کلید قدرت
۴۱	۳-۲ تشخیص خطای ترانسفورماتور ولتاژ
۴۱	۱-۳-۲ انواع خطا در ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ (VT)
۴۲	۲-۳-۲ منطق کلی تشخیص خطای نامتقارن در سمت فشار ضعیف VT
۴۳	۳-۳-۲ منطق کلی تشخیص خطای متقارن در ثانویه VT (خطای سه فاز)

۴۵	۴-۲ تشخیص خطا در انتهای خط
۴۵	۱-۴-۲ تشریح خطای انتهای خط
۴۷	۲-۴-۲ منطق تشخیص خطای انتهای خط
۴۸	۵-۲ تشخیص باز شدن هادی
۴۸	۱-۵-۲ دلایل باز شدن هادی‌های خط
۴۸	۲-۵-۲ منطق تشخیص باز شدن هادی
۵۱	فصل ۳ فانکشن‌های حفاظتی ولتاژ پایه
۵۲	۱-۳ حفاظت اضافه‌ولتاژ
۵۲	۱-۱-۳ عوامل ایجاد اضافه‌ولتاژ
۶۱	۲-۱-۳ اقدامات لازم در مقابل اضافه‌ولتاژ
۶۲	۳-۱-۳ اقدامات لازم در مقابل اضافه‌ولتاژ در شبکه
۶۳	۴-۱-۳ منطق حفاظت اضافه‌ولتاژ در رله‌های دیجیتال
۶۵	۵-۱-۳ نحوه محاسبه زمان ارسال دستور قطع
۶۷	۲-۳ حفاظت افت‌ولتاژ
۶۷	۱-۲-۳ عوامل افت‌ولتاژ
۷۰	۲-۲-۳ افت‌ولتاژ در مؤلفه‌های شبکه
۷۱	۳-۲-۳ منطق حفاظت افت‌ولتاژ در رله‌های دیجیتال
۷۳	۴-۲-۳ نحوه محاسبه زمان ارسال دستور قطع
۷۵	۳-۳ حفاظت فرکانسی
۷۵	۱-۳-۳ عوامل تغییرات فرکانس
۷۶	۲-۳-۳ کاربرد فانکشن حفاظت فرکانسی
۷۷	۳-۳-۳ منطق کلی حفاظت فرکانسی
۷۹	فصل ۴ فانکشن‌های حفاظتی جریان پایه
۸۰	۱-۴ حفاظت اضافه‌جریان
۸۰	۱-۱-۴ نحوه اعمال تنظیمات و هماهنگی رله‌ها
۸۲	۲-۱-۴ اصول رتبه‌بندی رله‌ها براساس معیارهای جریان خط و زمان عملکرد
۹۰	۳-۱-۴ رله‌های اضافه‌جریان خیلی معکوس
۹۰	۴-۱-۴ رله‌های اضافه‌جریان فوق‌العاده معکوس
۹۱	۵-۱-۴ مشخصه‌های دیگر
۹۱	۶-۱-۴ تنظیم جریانی رله

- ۹۴ ۷-۱-۴ محاسبه تنظیمات مناسب برای رله اضافه جریان
- ۹۶ ۸-۱-۴ رله‌های اضافه جریان جهت دار
- ۱۰۵ ۹-۱-۴ جریان هجومی ترانسفورماتورها و تأثیر آن بر حفاظت اضافه جریان
- ۱۱۰ ۱۰-۱-۴ منطق فانکشن حفاظت اضافه جریان در رله‌های دیجیتال
- ۱۱۶ ۱۱-۱-۴ فانکشن حفاظت بستن کلید قدرت روی خطا (SOTF)
- ۱۱۸ **۲-۴ حفاظت خطای زمین**
- ۱۱۸ ۱-۲-۴ روش‌های اندازه‌گیری جریان زمین
- ۱۲۰ ۲-۲-۴ حفاظت خطای زمین حساس
- ۱۲۲ ۳-۲-۴ حفاظت خطای زمین جهت دار
- ۱۲۵ ۴-۲-۴ حفاظت خطای زمین در شبکه‌های زمین نشده
- ۱۲۶ ۵-۲-۴ حفاظت خطای زمین در شبکه‌های زمین شده با سیم پیچ پترسون
- ۱۳۲ ۶-۲-۴ جریان هجومی ترانسفورماتورها و تأثیر آن بر حفاظت خطای زمین
- ۱۳۳ ۷-۲-۴ منطق فانکشن حفاظت خطای زمین در رله‌های دیجیتال
- ۱۳۴ ۸-۲-۴ منطق فانکشن حفاظت خطای زمین حساس در رله‌های دیجیتال
- ۱۳۵ ۹-۲-۴ فانکشن SOTF برای حفاظت خطای زمین
- ۱۳۷ **۳-۴ حفاظت نقطه کور**
- ۱۳۸ ۱-۳-۴ تشریح خطای نقطه کور
- ۱۳۸ ۲-۳-۴ منطق حفاظت نقطه کور
- ۱۳۹ **۴-۴ حفاظت اضافه بار حرارتی**
- ۱۳۹ ۱-۴-۴ کاربرد حفاظت اضافه بار حرارتی
- ۱۴۰ ۲-۴-۴ محاسبه زمان قطع از روی جریان عبوری
- ۱۴۱ ۳-۴-۴ منطق حفاظت اضافه بار حرارتی در رله‌های دیجیتال
- ۱۴۳ **۵-۴ بار زدایی**
- ۱۴۳ ۱-۵-۴ نحوه به کارگیری فانکشن بار زدایی
- ۱۴۴ ۲-۵-۴ معیارهای تشخیص "ضرورت بار زدایی"
- ۱۴۴ ۳-۵-۴ منطق کلی فانکشن بار زدایی در رله‌های دیجیتال
- ۱۴۹ **۶-۴ حفاظت بار نامتعادل**
- ۱۴۹ ۱-۶-۴ اثرات سوء بار نامتعادل
- ۱۴۹ ۲-۶-۴ کاربردهای دیگر فانکشن حفاظت بار نامتعادل
- ۱۵۰ ۳-۶-۴ منطق حفاظت بار نامتعادل در رله‌های دیجیتال

فصل ۵ حفاظت دیستانس

۱-۵ امپدانس ثانویه

۲-۵ اندازه‌گیری فاصله یا امپدانس خطا در رله‌های دیجیتال

۳-۵ دیاگرام امپدانس

۴-۵ فانکشن راه‌انداز (تشخیص خطا)

۵-۵ زون‌های حفاظت دیستانس

۶-۵ انواع سیستم‌های اندازه‌گیری دیستانس

۷-۵ نمودار رتبه‌بندی حفاظت دیستانس در شبکه

۸-۵ حفاظت دیستانس از راه دور

۹-۵ تشخیص نوسان توان

۱۰-۵ عملکرد فانکشن حفاظت دیستانس با فانکشن بازبست اتوماتیک

۱۱-۵ تست زمان در رله‌ها

۱۲-۵ عوامل تاثیرگذار بر عملکرد فانکشن دیستانس

۱۳-۵ نحوه تعیین محدوده خطا در رله‌های دیستانس

فصل ۶ فانکشن‌های مدیریتی و کنترل لید قدرت

۱-۶ بازبست اتوماتیک

۱-۱-۶ خطاهای گذرا

۲-۱-۶ عملکرد کلی بازبست اتوماتیک

۳-۱-۶ خطای ثانویه

۴-۱-۶ شرایط شروع به کار فانکشن بازبست اتوماتیک

۵-۱-۶ پیش‌شرط‌های ارسال دستور وصل

۶-۱-۶ عملکرد خارج از هماهنگی رله‌ها در حضور فانکشن بازبست

۷-۱-۶ رله بازبست اتوماتیک خارجی (مجزا)

۲-۶ بررسی سنکرونیزم

۱-۲-۶ عملکردهای مختلف فانکشن بررسی سنکرونیزم

۲-۲-۶ انواع شرایط اتصال

۳-۲-۶ منطق فانکشن بررسی سنکرونیزم

۳-۶ تشخیص نقص در کلید قدرت

۱-۳-۶ عوامل بروز نقص در کلید قدرت

۲-۳-۶ عملکرد رله حفاظتی پس از تشخیص نقص در کلید قدرت

۲۸۲

۳-۳-۶ منطق تشخیص نقص در کلید قدرت در رله‌های دیجیتال

۲۹۰

۴-۶ تشخیص عدم تعادل فازها در کلید قدرت

۲۹۰

۱-۴-۶ عوامل ایجاد عدم تعادل فازها در کلید قدرت

• ۲۹۱

۲-۴-۶ منطق تشخیص عدم تعادل فازها در کلید قدرت

۲۹۳

منابع و مراجع

۲۹۵

ضمیمه

۲۹۷

واژه‌نامه انگلیسی-فارسی

۳۰۱

واژه‌نامه فارسی-انگلیسی

۳۰۵

فهرست راهنما

اگرچه سیستم‌های حفاظتی در شبکه‌های برق سهم بسیار ناچیزی از هزینه‌های سرمایه‌گذاری در این شبکه‌ها را تشکیل می‌دهد، نقش بی‌بدیل آن‌ها در ارائه برق باکیفیت و پایدار سبب اهمیت دوچندان آن در طراحی شبکه‌های برق می‌شود.

حفاظت پایداری شبکه در زمان بروز خطا، تثبیت ولتاژ در مقادیر از پیش تعیین‌شده، جلوگیری از بروز خسارت به تجهیزات موجود در شبکه، کنترل فرکانس شبکه برق، همه و همه در پی به‌کارگیری سیستم حفاظتی دستگاه‌های حفاظتی در مکان مناسب و با تنظیمات مناسب به‌دست می‌آید. با گسترش سیستم‌های دیجیتال از یکسو و توسعه دانش مخابرات از سوی دیگر، پنجره جدیدی در مبحث حفاظت شبکه‌های برق گشوده شده است که ماحصل آن در سیستم‌های اندازه‌گیری فازی (PMU) و سیستم‌های پالایش و حفاظت گسترده (WAMPS) قابل مشاهده است. در این سیستم‌ها با توجه به قابلیت‌های بالای نمونه‌برداری در سیستم‌های دیجیتالی و سرعت قابل قبول ارسال و دریافت اطلاعات، امکان ارائه حفاظت‌های محلی SPS و حفاظت‌های متمرکز نیز در شبکه‌های برق مهیا شده است.

استفاده و توسعه سیستم‌های فوق بدون درک و فهم صحیح منطق و فلسفه سیستم‌های حفاظتی دیجیتال امکان‌پذیر نیست. این موضوع در این کتاب به‌خوبی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

باتوجه به تجربیات گران‌قدر، استاد ارجمند جناب آقای دکتر رنجبر، در این کتاب سعی شده است که ساختار و منطق برخی از رله‌های حفاظتی دیجیتال برای دانشجویان مهندسی برق و کارشناسان حفاظت صنعت برق به‌عنوان مرجعی قابل‌اتکا، ارائه گردد. در اینجا لازم است از زحمات جناب آقای مهندس رضائی جگرلوئی و همکاران ایشان که مسئولیت تهیه و تألیف کتاب را بر عهده داشتند، تقدیر و قدردانی گردد.

علیرضا شیرانی

مدیرعامل

مهندسین مشاور مונکو ایران

پیشگفتار

انرژی الکتریکی به حدی با زندگی بشری آمیخته شده است که تصور زندگی بدون آن بسیار مشکل است. توسعه اقتصادی و شکوفایی صنعتی بدون توسعه صنعت برق ممکن نیست به نحوی که عدم تأمین پایدار انرژی الکتریکی می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری بر پیکره اقتصادی جامعه وارد کند. از این رو، حفاظت بهینه و کارآمد از شبکه‌های قدرت، یکی از حساس‌ترین نیازمندی‌های جامعه است. تضمین سطح قابل قبولی از پایداری و قابلیت اطمینان شبکه برق است. بنابراین، در تجهیزات به کار رفته در زمینه حفاظت از شبکه‌های قدرت از آخرین فناوری‌های روز دنیا استفاده می‌گردد. اگر در رله‌های حفاظتی از نوع میکروپروسسوری هستند که با نام "رله‌های دیجیتال" شناخته می‌شوند، رله‌های دیجیتالی نسبت به رله‌های قدیمی (از جمله رله‌های الکترومکانیکی و استاتیکی) مزایای بسیاری را برای برقراری سیستم‌های حفاظت بهینه، کارا و دقیق‌تر دارند. وجود میکروپروسسور اجزای الکترونیکی و همچنین ادوات ارتباطی با قابلیت‌های فراوان در رله‌های دیجیتال باعث شده است که منطق‌های حفاظتی کامل‌تر و پیچیده‌تری برای تشخیص انواع شرایط خطا و حصول سیستم حفاظتی کارآمدتر، به کار گرفته شود. از طرفی، این پیچیدگی باعث می‌شود که پیش از نصب و بهره‌برداری از این رله‌ها، نیاز بیشتری به کسب تخصص و آشنایی کامل با منطق حفاظتی آن، ایجاد گردد، چراکه نصب یا تنظیم نادرست رله حفاظتی می‌تواند منجر به ناکارآمدی سیستم حفاظت و حتی ناپایداری شبکه شود.

کتاب پیش رو که حاصل چندین سال تجربه عملی و مطالعات تخصصی در زمینه حفاظت شبکه‌های قدرت (به خصوص خطوط انتقال قدرت و پست‌های فشارقوی) است، جلد اول از یک مجموعه دوجلدی است که ضمن تشریح ساختار کلی رله‌های دیجیتالی، انواع شرایط خطا و علت ایجاد آن‌ها در شبکه قدرت را بررسی می‌کند و منطق حفاظتی رله‌های دیجیتال برای تشخیص انواع خطا و اقدامات لازم پیش، حین و پس از وقوع خطا را شرح می‌دهد.

با توجه به تعداد زیاد سازندگان رله‌های دیجیتال و تنوع موجود در منطق‌های بکار گرفته شده، لازم به ذکر است که منطق‌های تشریح شده در این کتاب کاملاً قابل تعمیم و تطبیق با کلیه رله‌های دیجیتال موجود در صنعت برق نیست، بلکه منطق کلی هر فانکشن حفاظتی

به طوری شرح داده شده است که بیشترین اشتراک را با انواع رله‌های دیجیتال داشته باشد و در برخی فانکشن‌ها (مانند بازبست اتوماتیک) نیز اکثر منطق‌های بکار رفته برای آن فانکشن انواع رله‌ها بررسی می‌شود، بنابراین ممکن است به طور مثال منطق حفاظت افت ولتاژ شرح داده شده در این کتاب با منطق حفاظت افت ولتاژ در یک رله دیجیتال خاص تا حدی متفاوت باشد، با این وجود، درک و فهم دقیق منطق‌های شرح داده شده در این کتاب، زمینه را برای درک منطق‌های متنوع در رله‌های مختلف فراهم می‌کند.

در جلد اول کتاب، انواع فانکشن‌های مورد استفاده در حفاظت خطوط بلند و برخی از فانکشن‌های مشترک در حفاظت خط، پست، ترانسفورماتور و غیره تشریح شده است. در جلد دوم، انواع حفاظت‌های دیفرانسیل (برای ترانسفورماتور، باس بار، ژنراتور و ...) و فانکشن‌های حفاظتی مختصر، حفاظت ژنراتور، موتور و ترانسفورماتور شرح داده می‌شود. امید است این کتاب در حد قابل قبولی پاسخگوی نیاز مهندسين برق فعال در عرصه حفاظت و همچنین دانشجویان رشته مهندسی برق باشد.

منطق‌های شرح داده شده در این کتاب عموماً از رله‌های مدل 7SA5XX، 7SA6XX، 7SJXXX، 7VK6XX، P821، P44X، P43X، P9XX، P14X، REQ650، REL6XX و رله‌های مدل REF6XX ساخت شرکت ABB اقتباس شده است.

در انتها، از دکتر سید محمد شهرتاش که از استادان گرانقدر دانشگاه علم و صنعت هستند، بابت مطالعه دقیق این کتاب و ارائه راهنمایی‌های ارزنده سپاس‌گذاری می‌کنیم. همچنین از دکتر نیما مؤدبی و مهندسین مجید قاسمیان، علی طیبی، پرویز نجفی و زهرا عادل‌ی که از کارشناسان خبره حفاظت هستند، جهت کمک به نگارش بهتر این کتاب، که تلاش و قدردانی را داریم، از خوانندگان محترم این کتاب تقاضا می‌کنیم که در صورت مشاهده هرگونه اشکال و نقص در کتاب، یا جهت ارائه پیشنهاد و انتقاد، با آدرس الکترونیکی rezaei_moh@yahoo.com تماس حاصل فرمایند تا در راستای بهتر کردن این کتاب قدم برداریم.

علی محمد رنجبر

استاد دانشگاه صنعتی شریف