



وزارت نیرو
شرکت برق
منطقه‌ای اصفهان

کتاب حفاظت و بیمتال

بستمای انرژی

مولف: محمد اسماعیل همدانی گلشن

شابک	: ۷۵۰۰۰ ریال 8-93851-600-978
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۸۵۴۱۲۸
عنوان و نام پدیدآور	: کتاب حفاظت دیجیتال سیستم‌های انرژی/ محمداسماعیل همدانی گلشن ؛ به سفارش روابط عمومی شرکت برق منطقه‌ای اصفهان.
مشخصات نشر	: اصفهان: میراث کهن، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۴۴۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.
موضوع	: برق -- سیستم‌ها -- حفاظت
موضوع	: Electric power systems -- Protection
موضوع	: نیروگاه‌های برق -- حفاظت
موضوع	: Electric power-plants -- Protection
موضوع	: رله‌های محافظ
موضوع	: Protective relays
رده بند د.ی	: ۶۲۱/۳۱۷
رده بندی نگره	: ۱۳۹۶TK1۰۰۵ ۱۳۸۷/۵
سرشناسه	: ه. ن. گلشن، محمداسماعیل، ۱۳۴۳ -
شناسه افزوده	: شرکت برق منطقه‌ای اصفهان. دفتر روابط عمومی
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا

عنوان	: کتاب حفاظت دیجیتال سیستم‌های انرژی.
به کوشش	: محمد اسماعیل همدانی گلشن
طرح جلد	: کانون آگهی و تبلیغاتی عارف
به سفارش	: روابط عمومی شرکت برق منطقه‌ای اصفهان
شناسه	: ۸-۸-۹۳۸۵۱-۶۰۰-۹۷۸
تاریخ نشر	: مهر ماه ۱۳۹۶
نوبت چاپ	: چاپ اول
تیراژ	: ۵۰۰
قیمت	: ۷۵۰۰۰ ریال
ناشر	: انتشارات میراث کهن - ۳۱-۳۲۶۶۱۰۹۹
نشانی: اصفهان - خیابان شریف واقعی - جنب بانک سپه - طبقه اول - واحد یک	

بسمه تعالی

در سالهای اخیر پیشرفت سریع و قابل توجه در رله‌های دیجیتال و کامپیوترهای پست‌های برق که همه وظایف اندازه‌گیری حفاظتی و کنترلی را با استفاده از داده‌های مفصل موجود در پست انجام می‌دهند به نحوی بوده است که در بسیاری از ممالک پیشرو از جمله کشور خود ما، دروس حفاظت دیجیتال و حفاظت پیشرفته سیستم‌های انرژی الکتریکی طراحی و بصورت فعال تدریس شده‌اند. در آمار مقالاتی که در مجلات معتبر چاپ می‌شوند نیز تمایل نسبت به موضوع حفاظت دیجیتال سیستم‌های قدرت و اخیراً حفاظت ناحیه گسترده بشدت افزایش یافته است.

در صنعت برق ایران نیز طی سالهای اخیر توجه مثال‌زدنی به موضوع حفاظت سیستم‌های قدرت و بالاخص حفاظت دیجیتال شده است اگرچه علیرغم این تلاش‌ها، این بخش همچنان به توجه و تربیت بیشتری نیاز دارد.

شرکت برق منطقه اصفهان که همواره تلاش کرده است در روزآمد کردن دانش کارشناسان خود و بالابردن نقش تحقیقات در موضوعات مهندسی از شرکت‌های پیشرو در سطح کشور باشد امید دارد تألیف این کتاب گامی مناسب در تحقق این هدف باشد. بی‌شک مبانی، مفاهیم، الگوریتم‌ها و کاربردهای بحث شده در این کتاب که آن‌را به عنوان منبعی ارزشمند در شاخه حفاظت سیستم‌های انرژی الکتریکی معرفی می‌کند می‌تواند در اهداف آموزشی، تحقیقاتی و مهندسی صنعت برق و دانشگاه‌های کشور مؤثر باشد.

اینجانب لازم می‌دانم از زحمات جناب آقای دکتر محمد اسماعیل همدانی گلشن که با نکته‌سنجی و وسواس قابل تقدیری این کتاب را تألیف نموده‌اند قدردانی نموده و این اثر را به کلیه تلاشگران صنعت برق و دانشگاهیان محترم تقدیم نمایم.

سوا موسی رضایی

مدیرعامل شرکت برق منطقه‌ای اصفهان

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه‌ای بر حفاظت دیجیتالی

- ۱-۱- کلیات ۱
- ۲-۱- توسعه رله گذاری دیجیتال ۴
- ۳-۱- سیر تاریخی رله گذاری دیجیتال ۵
- ۴-۱- مریت های رله گذاری دیجیتال ۷
- ۵-۱- ساختار سیستم های سلسله مراتبی و حفاظت دیجیتال ۱۶
- ۶-۱- برخی نگرانی ها درباره کابری رله های دیجیتال ۱۹
- ۷-۱- الگوریتم های حفاظت ۲۰
- ۷-۱-۱- منابع ایجاد خطا ۲۱
- مراجع ۲۳

فصل دوم: سخت افزار رله های دیجیتال

- ۱-۲- بخش های اصلی یک رله دیجیتال ۲۵
- ۱-۱-۲- زیرسیستمی که سیگنال های لازم را برای رله های دیجیتال مهیا می کند ۲۷
- ۲-۱-۲- زیرسیستم تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال ۳۹
- ۳-۱-۲- زیرسیستم پردازشگر دیجیتال ۵۰
- ۲-۲- ملاحظات زمان واقعی ۵۲
- ۲-۲-۱- نرخ های نمونه برداری استاندارد ۵۳
- مراجع ۵۶

فصل سه: تبدیل فوریه گسسته

- ۱-۳- نمایش یک سیگنال در حوزه زمان و حوزه فرکانس ۵۷
- ۲-۳- مروری بر تبدیلات فوریه ۵۸
- ۲-۳-۱- سری فوریه ۵۹
- ۲-۳-۲- تبدیل فوریه ۶۲

۶۴	۳-۳-سیگنال‌های زمان گسسته
۶۵	۳-۴-سیستم‌های زمان گسسته
۶۶	۳-۵-تبدیل فوری گسسته
۷۰	۳-۶-خطاهای تولیدشده توسط DFT
۷۱	۳-۶-۱-خطای نشت در طیف
۷۴	۳-۶-۲-کاهش خطای نشت طیف
۷۸	۳-۶-۳-اثر پرچین
	۳-۷-الگوریتم‌هایی برای تعیین مولفه اصلی شکل موج‌های ولتاژ و جریان بر مبنای روابط سری فوریه
۸۱	
۸۲	۳-۷-۱-الگوریتم پنجره سیکل کامل
۸۴	۳-۷-۲-الگوریتم پنجره نیم سیکل
۸۶	۳-۸-تبدیل والش
۸۶	۳-۸-۱-توابع والش
۸۶	۳-۸-۲-خواص توابع والش
۸۷	۳-۸-۳-سری والش
۸۸	۳-۸-۴-ارتباط بین ضرایب سری والش و ضرایب سری فوریه
۹۰	۳-۸-۵-نمایش توابع والش به صورت زنجیره گسسته
۹۱	۳-۸-۶-الگوریتم‌های مبتنی بر تابع والش
۹۵	مراجع

فصل چهار: فیلترهای دیجیتال

۹۷	۴-۱-نمایش فیلتر
۱۰۱	۴-۲-انواع فیلترهای دیجیتال
۱۰۱	۴-۲-۱-فیلترهای دیجیتال با پاسخ ضربه محدود (FIR)
۱۰۲	۴-۲-۲-فیلترهای با پاسخ ضربه نامحدود (IIR)
۱۰۳	۴-۳-مبنای فیلتر با پاسخ ضربه محدود
۱۰۵	۴-۴-تحلیل فیلترهای FIR استاندارد
۱۰۵	۴-۴-۱-فیلترها با پنجره‌های والش
۱۱۲	۴-۴-۲-فیلترهای سینوس و کسینوس
۱۱۷	۴-۴-۳-الگوریتم برگشتی یک جفت فیلتر متعامد
۱۱۹	۴-۵-طراحی فیلترهای FIR

مراجع.....	۱۲۳
------------	-----

فصل پنجم: الگوریتم‌های اندازه‌گیری دامنه و فاز سیگنال‌های سینوسی

۱-۵- مراحل پردازش سیگنال در یک رله دیجیتال.....	۱۲۵
۲-۵- آماده کردن سیگنال دیجیتال.....	۱۲۶
۳-۵- فیلتر کردن و متعامدسازی سیگنال به صورت یک مرحله.....	۱۲۷
۴-۵- روش‌های متعامدسازی سیگنال به صورت جدا و در دو مرحله.....	۱۲۷
۱-۴-۵- تعامدسازی با تأخیر زمانی تکی.....	۱۲۸
۲-۴-۵- تعامدسازی با تأخیر زمانی دوبل.....	۱۳۱
۵-۵- اندازه‌گیری اندازه سیگنال‌های ولتاژ و جریان.....	۱۳۲
۶-۵- اندازه‌گیری فاز سیگنال.....	۱۳۶
۷-۵- الگوریتم‌های مربوط به پرودار.....	۱۳۸
۱-۷-۵- تفاضل‌های محدود.....	۱۳۹
۲-۷-۵- روابط میان یابی.....	۱۴۰
۳-۷-۵- محاسبه مشتق به روش عددی.....	۱۴۲
۴-۷-۵- روش استفاده از یک نمونه و مشتق و این (الگوریتم من-موريسون).....	۱۴۴
۵-۷-۵- روش مشتق اول و مشتق دوم (الگوریتم پرودار).....	۱۴۸
۶-۷-۵- روش دو نمونه.....	۱۴۹
۷-۷-۵- تکنیک سه نمونه.....	۱۵۱
مراجع.....	۱۵۲

فصل ششم: الگوریتم‌های اندازه‌گیری مبتنی بر روش حداقل مربعات خطا

۱-۶- تخمین خطی.....	۱۵۳
۱-۱-۶- حداقل مربعات وزن داده شده.....	۱۵۵
۲-۶- برازش منحنی با استفاده از روش حداقل مربعات خطا.....	۱۵۶
۱-۲-۶- هموارسازی.....	۱۵۹
۳-۶- الگوریتم اندازه‌گیری اندازه سیگنال‌ها به روش LSE.....	۱۵۹
۴-۶- فیلتر کالمن.....	۱۷۰
۱-۴-۶- مقدمه‌ای بر احتمال و متغیرهای تصادفی.....	۱۷۰
۲-۴-۶- فرآیندهای تصادفی.....	۱۷۳
۳-۴-۶- فیلتر کردن فرآیندهای تصادفی.....	۱۷۶

۱۷۷	۴-۴-۶- الگوریتم فیلتر کالمن
۱۸۲	مراجع

فصل هفت: ارزیابی و مقایسه عملکرد انواع فیلترهای دیجیتال

۱۸۳	۷-۱- مقدمه
۱۸۴	۷-۱-۱- منابع خطا در سیگنال‌های ورودی به رله‌ها
۱۸۸	۷-۲- مشخصه‌های یک فیلتر
۱۸۸	۷-۲-۱- نحوه ساخت و پیاده‌سازی فیلتر
۱۸۸	۷-۲-۲- ارتباط پاسخ ضربه با پاسخ فرکانسی
۱۹۰	۷-۳- ارزیابی فیلتر
۱۹۱	۷-۳-۱- فیلترهای FIR مرسوم
۱۹۳	۷-۴- پاسخ فرکانسی فیلترهای اندازه‌گیری اندازه سیگنال‌ها
۱۹۷	۷-۴-۱- الگوریتم مرسون-ورتیس
۱۹۸	۷-۴-۲- الگوریتم پرودار
۱۹۹	۷-۴-۳- DFT تمام سیکل
۱۹۹	۷-۴-۴- DFT نیم سیکل
۲۰۱	۷-۴-۵- فیلتر کسینوس
۲۰۱	۷-۴-۶- الگوریتم حداقل مربعات
۲۰۳	۷-۴-۷- پاسخ فرکانسی فیلتر کالمن
۲۱۰	۷-۵- پاسخ گذرای الگوریتم‌های اندازه‌گیری دامنه و فاز
۲۱۰	۷-۵-۱- اثر طول پنجره روی پاسخ گذرای الگوریتم‌ها
۲۱۳	۷-۵-۲- ارزیابی پاسخ گذرای انواع فیلترها
۲۱۳	۷-۵-۳- روش‌هایی برای بهبود پاسخ گذرای فیلترها
۲۱۶	مرجع

فصل هشت: اصلاح خطای عملکرد ترانسفورماتورهای حفاظتی و الگوریتم‌های فیلتر

فوریه

۲۱۸	۸-۱- اثر مؤلفه DC میراشونده روی عملکرد الگوریتم فوریه
۲۲۱	۸-۲- محاسبه و حذف مؤلفه DC میراشونده
	۸-۳- محاسبه و حذف مؤلفه DC میراشونده با در نظر گرفتن عملکرد فیلتر ضد اختلاط
۲۲۴	فرکانسی

۲۲۶.....	۸-۴- محاسبه و حذف مؤلفه DC میراشونده در شرایط به کارگیری پنجره داده متغیر.....
۲۳۱.....	۸-۵- اصلاح خطاهای ایجادشده بوسیله ترانسفورماتورهای ولتاژ.....
۲۳۲.....	۸-۶- اصلاح خطاهای ترانسفورماتور جریان.....
۲۳۳.....	۸-۶-۱- مشخص نمودن تکه اشباع‌نشده شکل موج.....
۲۳۶.....	۸-۶-۲- اصلاح جریان ثانویه.....
۲۴۰.....	مراجع.....

فصل نهم: حفاظت دیستانس دیجیتال

۲۴۱.....	۹-۱- مقدمه.....
۲۴۲.....	۹-۲- تعیین امیدانسر خطا با استفاده از مؤلفه‌های توالی ولتاژها و جریان‌ها.....
۲۴۳.....	۹-۲-۱- تعیین تقریبی محل خطا با استفاده از کمیت‌های اندازه‌گیری شده در یک طرف خط.....
۲۴۴.....	۹-۲-۲- تعیین محل خطا با استفاده از کمیت‌های اندازه‌گیری شده در دو طرف خط معیوب.....
۲۴۶.....	۹-۲-۳- تعیین محل خطا با استفاده از کمیت‌های اندازه‌گیری شده خط معیوب و خط سالم.....
۲۴۸.....	۹-۳- حفاظت خطوط موازی با استفاده از یک رله دیستانس در هر طرف خط.....
۲۵۱.....	۹-۳-۱- الگوریتم مبتنی بر مقایسه جریان فازها در سائر دو خط.....
۲۵۲.....	۹-۳-۲- الگوریتم مبتنی بر مقایسه امیدانسر اندازه‌گیری شده توسط کمیت‌های متناظر دو خط.....
۲۵۵.....	۹-۴- الگوریتم‌های معادله دیفرانسیل.....
۲۵۹.....	۹-۴-۱- الگوریتم‌های مبتنی بر مدل مرتبه اول خط انتقال.....
۲۶۰.....	۹-۴-۲- تحلیل خطای الگوریتم‌های معادله دیفرانسیل.....
۲۶۵.....	۹-۴-۳- استفاده از مدل π خط در الگوریتم معادله دیفرانسیل.....
۲۶۷.....	۹-۴-۴- اصلاح الگوریتم معادله دیفرانسیل با در نظر گرفتن مقاومت و قوس خطا.....
۲۶۹.....	۹-۴-۵- شکل کلی معادله دیفرانسیل خط برای خطاهای مختلف.....
۲۷۳.....	۹-۵- حفاظت دیستانس دیجیتال مبتنی بر امواج سیار.....
۲۷۶.....	۹-۵-۱- امواج سیار روی خطوط تک‌فاز.....
۲۷۷.....	۹-۵-۲- امواج سیار روی خطوط سه فاز.....
۲۸۰.....	۹-۵-۳- امواج سیار حاصل از وقوع خطا.....
۲۸۳.....	۹-۵-۴- تشخیص جهت در رله‌های دیستانس بر پایه امواج سیار.....

۳۸۷.....	۹-۵-۵-رله‌های دیستانس مبتنی بر امواج سیار
۳۸۹.....	۹-۶-برخی اقدامات تکمیلی در حین یا بعد از تخمین پارامتر
۳۸۹.....	۹-۶-۱-تعیین نوع خطا
۳۹۴.....	۹-۶-۲-برنامه کامل رله‌گذاری خط
۳۹۵.....	مراجع

فصل ده: حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور، ژنراتور و باس

۲۹۷.....	۱۰-۱-۱-مقدمه
۲۹۸.....	۱۰-۱-حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور
۳۰۰.....	۱۰-۳-۱-جریان همی ترانسفورماتور
۳۰۱.....	۱۰-۳-۱-۱-عامل مربوط به جریان هجومی ترانسفورماتور
۳۰۵.....	۱۰-۴-۱-الگوریتم‌های حفاظت دیفرانسیل در ترانسفورماتور قدرت
۳۰۵.....	۱۰-۴-۱-۱-روش محدودیت‌های موبیکی
۳۰۷.....	۱۰-۴-۲-روش بازدارندگی مبتنی بر لثاژ
۳۰۹.....	۱۰-۴-۳-بازدارندگی مبتنی بر تشخیص ذات و رله‌های اندازه‌گیری‌شده و تخمین زده‌شده
۳۱۳.....	۱۰-۴-۴-بازدارندگی بر اساس تعیین شاخص داخلی ترانسفورماتور
۳۱۵.....	۱۰-۴-۵-بازدارندگی بر اساس تحلیل شکا موج جریان دیفرانسیل
۳۲۰.....	۱۰-۵-حفاظت دیفرانسیل زمین ترانسفورماتور
۳۲۰.....	۱۰-۵-۱-طرح حفاظت دیفرانسیل زمین با یک رله جریان زیاد معکوس
۳۲۱.....	۱۰-۵-۲-طرح حفاظت دیفرانسیل زمین با یک رله دیفرانسیل دینامیکی
۳۲۲.....	۱۰-۵-۳-طرح حفاظت دیفرانسیل زمین با رله جریان زیاد جهتی
۳۲۴.....	۱۰-۵-۴-طرح حفاظت دیفرانسیل زمین محدودشده
۳۲۵.....	۱۰-۵-۵-حفاظت دیفرانسیل زمین دیجیتال ترانسفورماتور
۳۲۹.....	۱۰-۶-حفاظت ژنراتور
۳۲۹.....	۱۰-۶-۱-حفاظت دیفرانسیل سیم‌پیچی‌های استاتور
۳۳۰.....	۱۰-۶-۲-سایر توابع حفاظتی ژنراتور
۳۳۲.....	۱۰-۷-حفاظت موتور
۳۳۳.....	۱۰-۸-حفاظت دیجیتال باس
۳۳۷.....	۱۰-۹-حفاظت واحد فیدرها
۳۳۸.....	۱۰-۹-۱-حفاظت دیفرانسیل دیجیتال فیدر
۳۴۰.....	۱۰-۹-۲-همزمان کردن اندازه‌گیری‌های رله

مراجع.....	۳۴۴
------------	-----

فصل یازده: حفاظت و فقی و تصمیم‌گیری پیشرفته در رله‌های دیجیتال

۱-۱۱-مقدمه.....	۳۴۷
۲-۱۱-اصول حفاظت و فقی.....	۳۴۸
۳-۱۱-مثال‌هایی از رله‌گذاری و فقی.....	۳۵۱
۴-۱۱-حفاظت دیستانس و فقی.....	۳۵۲
۱-۴-۱۱-حفاظت دیستانس و فقی خطوط چندسر.....	۳۵۳
۴-۱۱-بررسی ناحیه ۱ و فقی رله دیستانس.....	۳۵۵
۳-۴-۱۱-تنظیم و فقی رله دیستانس برای جبران تزویج توالی صفر در خطوط دو مداره.....	۳۵۵
۴-۴-۱۱-نظارت و فقی بر شاخه راکتانس.....	۳۶۱
۵-۴-۱۱-مشخصه و فقی رله دیستانس.....	۳۶۲
۶-۴-۱۱-طرح و فقی حفاظت دیستانس برای جلوگیری از کار رله در طی ناپایداری ولتاژ.....	۳۶۴
۷-۴-۱۱-حافظه قطبی‌کننده و فقی.....	۳۶۸
۸-۴-۱۱-تغییر پریود نمونه‌برداری و تنظیم راکتانس مشخصه رله دیستانس بر اثر تغییر فرکانس سیستم.....	۳۶۹
۵-۱۱-وصل مجدد سرعت بالای و فقی.....	۳۷۱
۶-۱۱-شیب و فقی رله دیفرانسیل ترانسفورماتور قدرت.....	۳۷۲
۷-۱۱-حفاظت دیفرانسیل و فقی واحد ترانسفورماتور-ژنراتور.....	۳۷۳
۸-۱۱-تصمیم‌گیری قطعی و احتمالاتی.....	۳۷۶
۱-۸-۱۱-تصمیم‌گیری قطعی.....	۳۷۶
۲-۸-۱۱-آزمون فرض‌های آماری.....	۳۷۹
۹-۱۱-تصمیم‌گیری با چند معیار.....	۳۸۵
مراجع.....	۳۸۸

فصل دوازده: استفاده از رله‌های حفاظتی در اندازه‌گیری و کنترل

۱-۱۲-هم‌زمان کردن نمونه‌برداری‌ها.....	۳۹۰
۲-۱۲-استفاده از اندازه‌گیری‌های هم‌زمان در تخمین حالت.....	۳۹۱

- ۳۹۴.....۱۲-۳- استفاده از اندازه‌گیری زوایا در تخمین زننده WLS
- ۳۹۵.....۱۲-۴- تخمین زننده حالت خطی
- ۳۹۷.....۱۲-۵- تخمین حالت افراز شده
- ۳۹۸.....۱۲-۶- استفاده از اندازه‌گیری‌های سیستم حفاظتی در پایش عملکرد سیستم و تجهیزات
- ۳۹۸.....۱۲-۱- رسم نمودارهای زمانی کمیت‌ها برای تحلیل توالی رخدادها
- ۳۹۹.....۱۲-۲- آشکارسازی مراحل اول خطاهای ترانسفورماتور
- ۳۹۹.....۱۲-۳- پایش وضعیت سلامت کلیدها
- ۴۰۰.....۱۲-۷- سیستم‌های اندازه‌گیری ناحیه گسترده (WAMS)
- ۴۰۲.....۱۲-۱- طرح‌های حفاظتی مبتنی بر WAMS
- ۴۰۲.....۱۲-۸-۱- سیستم‌های حفاظتی مبتنی بر WAMS با بایاس قابلیت اطمینان یا امنیت
- ۴۰۲.....۱۲-۸-۲- پایش حرکت امپدانس‌های ظاهری دیده‌شده توسط رله‌های دیستانس به‌سمت
- ۴۰۴..... مشخصه‌های آن
- ۴۰۴.....۱۲-۸-۳- حفاظت خروج از همگامی مبتنی بر WAMS
- ۴۰۸.....۱۲-۸-۴- جزیره‌ای کردن مرزمنه
- ۴۰۹.....۱۲-۸-۵- بارزدایی و برگشت سیستم
- ۴۱۰.....۱۲-۸-۶- نظارت بر کار نواحی برد زیر بار دیستانس
- ۴۱۱.....۱۲-۸-۷- رله واقعی از دست رفتن میدان رباتور
- ۴۱۲.....۱۲-۸-۸- هماهنگی بین طرح‌های حفاظت مجتمع سیستم به‌وسیله WAMS
- ۴۱۴..... مراجع
- ۴۱۵..... مسائل تمرینی

پیشگفتار

سیستم‌های حفاظتی و کنترلی بخش مهمی از سیستم‌های انرژی الکتریکی مدرن امروزی هستند. برای جلوگیری از آسیب به تجهیزات و افراد، لازم است وقوع شرایط غیرعادی و شرایط خطا در کمترین زمان ممکن آشکار شده و اقدامات مناسب برای بازگشت سیستم به شرایط کار عادی انجام پذیرد. آشکارسازی شرایط خطا و تشخیص عنصر یا عناصر معیوب مدار و ارسال آلارم یا فرمان قطع برعهده سیستم‌های حفاظتی است درحالی‌که سیستم‌های کنترلی وظیفه امکان ادامه کار سیستم بعد از رفع خطا و رساندن شرایط غیرایمن به شرایط عادی را برعهده دارند. با گسترش سیستم‌های انرژی الکتریکی به هم‌پیوسته و اهمیت و تنوع بیشتر مسائل پایداری، اهمیت سیستم‌های حفاظتی نیز بیشتر شده است. یک سیستم حفاظتی با طراحی و عملکرد مناسب باید همه شرایط خطا را در کمترین زمان ممکن تشخیص و بصورت انتخابگرانه صرفاً برای قطع بخش معیوب فرمان مناسب را صادر نماید. از طرفی برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های حفاظتی، حفاظت‌های اصلی و پشتیبان هماهنگ پیش‌بینی می‌شوند. همان‌گونه که تشخیص شرایط خطا و قطع عنصر معیوب اهمیت زیادی دارد، عدم ارسال فرمان قطع اشتباه اهمیت بسیار بیشتری دارد. مشخص شده است که در بسیاری از خام‌وشی‌های گسترده رخ داده در سیستم‌های انرژی الکتریکی در سراسر دنیا، یک عامل مهم در گسترش اختلال، کار اشتباه رله‌های حفاظتی در سیستم‌های تحت فشار بوده است. موضوع مهم دیگر تأثیر عوامل متعدد همچون مقاومت خطا، تزویج بین خطوط موازی، محل خطا و جریان بار قبل از وقوع خطا روی کار رله‌های حفاظتی است که گاهی بدست آوردن یک تنظیم که عملکرد مناسب رله را در شرایط مختلف تضمین کند، بسیار مشکل خواهد بود.

خوشبختانه همزمان با افزایش مشکلات در بکارگیری و تنظیم سیستم‌های حفاظتی و کار ناخواسته آنها، ایجاد و توسعه رله‌های دیجیتال ابزار مناسبی برای کاهش و رفع مشکلات و موانع گفته شده فراهم نموده است. برخلاف رله‌های مکانیکی و الکترونیکی، رله‌های دیجیتال فعلی این امکان را دارند که همزمان الگوریتم‌های پیچیده و متفاوتی را اجرا و ضمن استفاده از داده‌های محلی با کمک داده‌های کسب شده از عناصر دیگر موجود در پست یا از نواحی دور دست سیستم، قابلیت اطمینان و امنیت بالایی را ارائه نمایند. بسیاری از واقعیت‌های موجود سیستم‌های انرژی الکتریکی را می‌توان در الگوریتم‌های نرم‌افزاری این رله‌ها منعکس نمود و با استفاده از مفاهیم حفاظت وفقی، بخشهای مختلف رله از جمله الگوریتم‌ها و تنظیمات را با تغییر شرایط سیستم، بصورت تطبیقی تغییر داد. قابلیت‌های رله‌های دیجیتال، به تحقق عملی مفاهیم حفاظت و کنترل ناحیه گسترده نیز کمک شایانی نموده است.

از این‌رو در حال حاضر وجود کتاب‌های مرجع در خصوص حفاظت دیجیتال سیستم‌های انرژی الکتریکی که مجموعه‌ای از مفاهیم، توصیفات و کاربردها را برای دانشجویان و مهندسين و

متخصصین صنعت برق فراهم کند اهمیت بیشتری یافته است. در سال‌های گذشته کتاب‌هایی با این موضوع در سطح بین‌المللی و همچنین در کشور خودمان، منتشر شده است که در جای خود بسیار ارزشمند و قابل استفاده هستند. با وجود این، مؤلف این اثر سعی نموده است ضمن استفاده از تجربیات آموزشی و پژوهشی طولانی مدت خود، مجموعه‌ای کاملی از موضوعات مرتبط با حفاظت دیجیتال سیستم‌های انرژی الکتریکی را در اختیار علاقمندان قرار دهد و ضمن ارائه مطالب پایه‌ای و مفهومی، الگوریتم‌های مهم برخی از حفاظت‌های پرکاربرد و همچنین موضوعات جدیدتر را توضیح دهد. در این راستا فصل اول و دوم به ترتیب به معرفی حفاظت دیجیتال و کلیاتی در این خصوص و همچنین مروری بر سخت‌افزار رله‌های دیجیتال می‌پردازند. فصل سوم به مروری بر مفاهیم تبدیلات فوریه و بحث روی تبدیل فوریه گسسته و عوامل ایجاد خطا در عملکرد آن و ارائه الگوریتم‌های اصلی مبتنی بر تبدیل فوریه به منظور استخراج مولفه‌های فرکانسی شکل موج‌های ولتاژ و جریان گذرا اختصاص دارد. فصل چهارم بگونه‌ای ادامه فصل سوم است و در آن موضوع فیلترهای دیجیتال با کفایت لازم مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل پنجم به الگوریتم‌های مقدماتی که بر فرض sinusoidal بودن شکل موج‌های ولتاژ و جریان مبتنی هستند و البته دارای مفاهیم کاربردهای مهمی مانند پراخته می‌شود. الگوریتم‌های حداقل مربعات خطا به عنوان یکی از مهمترین پایه‌ای‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌ها در استخراج مولفه‌های فرکانسی در فصل ششم با جزئیات لازم مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل هفتم به نوعی جمع‌بندی فصل‌های سوم تا ششم است و در آن به ارزیابی و مقایسه عملکرد فیلترهای دیجیتال مختلف از جمله فیلترهای مبتنی بر تبدیل فوریه پرداخته می‌شود. عوامل ایجاد خطا در الگوریتم‌های فوریه و همچنین در عملکرد ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ و راه‌حل‌های جبران آنها در فصل هشتم به بحث گذاشته می‌شود. فصل‌های نهم و دهم به توضیح مبانی و الگوریتم‌های اساسی حفاظت دیستانس و دیفرانسیل دیجیتال اختصاص دارد. در فصل نهم توضیح داده می‌شود که به اصل اساسی تخمین پارامترهای شکل موج‌های ولتاژ و جریان، تخمین پارامترهای مدل خط انتقال رله بسیار ناشی از وقوع خطا برای ایجاد الگوریتم‌های حفاظت دیستانس خط استفاده شده است و در ادامه بر مبنای این سه اصل، الگوریتم‌های پایه‌ای مربوط به هر کدام ارائه می‌شود. در فصل دهم نیز ضمن توضیح اصول حفاظت دیفرانسیل، الگوریتم‌های متعددی برای حفاظت دیفرانسیل خط، ترانسفورماتور، باس و ژنراتور معرفی می‌شود. در فصل یازدهم اصول و نمونه‌هایی از حفاظت وفقی و همچنین روش‌های مختلف تصمیم‌سازی در رله‌های دیجیتال از جمله تصمیم‌سازی قطعی و احتمالاتی و تصمیم‌سازی تک‌معیاره و چندمعیاره مورد بحث قرار می‌گیرد. فصل دوازدهم نیز به حفاظت ناحیه گسترده با استفاده از واحدهای اندازه‌گیری فازوری و استفاده از رله‌های حفاظتی در اندازه‌گیری و کنترل اختصاص دارد و در این راستا مروری بر مطالب مهم و مقدماتی صورت می‌پذیرد.

تألیف این کتاب با حمایت و تشویق برق منطقه‌ای اصفهان انجام پذیرفت و به این جهت مناسب می‌دانم از جناب آقای مهندس هوشنگ فلاحتیان و جناب آقای مهندس رسول موسی‌الرضایی مدیر عاملین سابق و فعلی برق منطقه‌ای اصفهان و کلیه اعضای کمیته تحقیقات برق منطقه‌ای اصفهان تشکر و سپاسگزاری نمایم. همچنین لازم است از زحمات جناب آقای دکتر شاهرخ شجاعیان به‌خاطر ویراستاری کتاب تشکر خود را ابراز نمایم.

از دانشجویان عزیز خودم آقایان مهندس نادر اسدی بروجنی، مهندس رضا زمانی، مهندس کامبیز محمودی، مهندس سید حمید حسینی، مهندس علی سیوندیان، مهندس مسعود دادخواه و مهندس حسین جعفری به‌خاطر زحمات بی‌دریغ در آماده سازی کتاب تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

محمد اسماعیل همدانی گلشن

زمستان ۱۳۹۵

www.ketab.ir