

۱۶۵۵

«اول دقت بر نام ایزدوانا»

حفاظت دیجیتال سیستم قدرت

S.R Bhida

مترجمین: دکتر عباس سیدی

لقمان رحیمی



۱۳۹۶

عنوان اصلی: Digital Power System Protection

حفاظت دیجیتال سیستم قدرت / [بهید]

تالیف: S. R. Bhide

ترجمه: هیرش سیدی ۱۳۵۸. لقمان رحیمی ۱۳۵۲.

تهران، ۱۳۹۶.

۳۴۰ صفحه. جدول. نمودار.

(سروش پایا، شماره انتشارات ۱۱۳۱۱)

شابک: ۹-۴-۹۷۴۶۱-۶۰۰-۹۷۸

چاپ: اول

رده بندی کنگره:

TK1005/957/1396

رده بندی دیویی:

۶۲۱/۳۱۷۰۲۸۹

شمار کتابشناسی ملی:

۲۱۲۶/۹

فهرست نویسنده بر اساس اطلاعات فیفا

یادداشت: عنوان اصلی: Digital Power System Protection

موضوع: برق -- سیستم -- ناظم

موضوع: Electric power systems -- Protection

موضوع: رله های محافظ

موضوع: Protective relays

شناسه افزوده: سیدی، هیرش، ۱۲۵۸، ترجمه

شناسه افزوده: رحیمی، لقمان، ۱۲۵۲، مترجم



این اثر مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان ۱۳۴۸ است. ۹۰٪ آن یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار می گیرد. تمامی حقوق مادی این اثر متعلق به انتشارات سروش پایا و مؤلف می باشد.

تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، خیابان روانمهر، کوچه درخشان، پلاک ۴.

تلفکس: ۰۹۱۹۷۰۶۶۴۵۹ و ۰۲۱-۶۶۴۱۹۱۹۵

نام کتاب: حفاظت دیجیتال سیستم قدرت

ناشر: انتشارات سروش پایا.

ترجمه: هیرش سیدی، لقمان رحیمی

نوبت چاپ: اول

سال چاپ: ۱۳۹۶

مکان: تهران

لیتوگرافی، چاپ و صفحه‌آرایی: سروش پایا

طراحی جلد و صفحه‌آرایی:

سروش پایا. ن. س. ۰۶۶۴۵۹۰۰۶۱۰۰۹۱۰

قیمت: ۲۰۰,۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۷۴۶۱-۴-۹

فهرست مطالب

پیش گفتار نویسنده

مقدمه مترجمین

۲

۵

۱

۱

۲

۳

۴

۵

۱- سیر تکامل حفاظت سیستم قدرت و پیدایش رله گذاری دیجیتال

۱-۱ سیر تکاملی رله اضافه جریان از یک آمپر متر

۲-۱ سیر تکاملی رله جهت دار از یک وات متر

۳-۱ پیدایش ترانزیستور

۴-۱ آغاز سیر تکاملی

۵-۱ معمار رله دیجیتال نوین

۷

۷

۸

۹

۹۱

۲۸

۳۱

۲- اصول پردازش سیگنال دیجیتال و معماری رله عددی

۱-۲ آشنایی با پردازش سیگنال دیجیتال

۲-۲ زنجیره پردازش سیگنال در DSP

۳-۲ مبدل های آنالوگ دیجیتال

۴-۲ نمونه برداری

۵-۲ فیلتر ضدتداخل

۶-۲ دیاگرام بلوکی کارکردی رله عددی

۳۹

۳۹

۵۰

۵۸

۶۳

۷۳

۷۳

۷۶

۷۹

۸۰

۸۲

۳- الگوریتم های بر پایه موج سینوسی تک فرکانس بدون اغتشاش

۱-۳ الگوریتم Morrison و Mann

۲-۳ تکنیک سه نمونه

۳-۳ الگوریتم مشتق اول و دوم

۴-۳ تکنیک دو نمونه

۴- الگوریتم های بر پایه حل معادلات دیفرانسیل

۱-۴ الگوریتم معادله دیفرانسیل

۲-۴ توجیه مدل $R-L$ فشرده سری

۳-۴ پیاده سازی الگوریتم معادله دیفرانسیل در صفحه گسترده اکسل

۴-۴ پیاده سازی الگوریتم معادله دیفرانسیل در MATLAB

۵-۴ الگوریتم حل معادله دیفرانسیل با استفاده از انتگرال عددی

۶-۴	پیاده‌سازی الگوریتم حل معادله دیفرانسیل با استفاده از انتگرال عددی در MATLAB	۸۵
۷-۴	کاربرد الگوریتم معادله دیفرانسیل در خط ۳ فاز	۹۰
۸-۴	حذف یک هارمونیک خاص با استفاده از انتگرال گیری در محدوده‌های انتخاب‌شده	۹۸

۵-	الگوریتم‌های بر پایه حداقل خطای مربعات	۱۰۳
۱-۵	تکنیک LSQ (حداقل خطای مربعات)	۱۰۳
۲-۵	میانگین بعنوان روشی عالی برای درک LSQ	۱۰۴
۳-۵	LSQ و شبه معکوس	۱۰۶
۴-۵	رابطه بین LSQ و شبه معکوس	۱۰۸
۵-۵	الگوریتم LSQ ارائه شده توسط ساچدو	۱۰۹
۶-۵	پیاده‌سازی الگوریتم LSQ در MATLAB	۱۱۳

۶-	تبدیل فوری	۱۱۷
۱-۶	آشنایی با مفهوم طیف	۱۱۷
۲-۶	ضرایب فوری به روشی عالی برای درک LSQ	۱۲۵
۳-۶	خلاصه سری‌های فوری	۱۲۸
۴-۶	کاربردهای تحلیل فوری	۱۲۸
۵-۶	تحلیل فوری پالس تکرار شوند	۱۲۸
۶-۶	پالس غیر تکرار شوند به جای پالس تکرار شوند	۱۳۱
۷-۶	ایجاد تبدیل فوری گسسته	۱۳۳
۸-۶	پیش فرض ضمنی مستتر در تبدیل فوری گسسته	۱۳۶
۹-۶	معنای 'N' نمونه جمع آوری شده در یک پنجره	۱۳۷
۱۰-۶	افزودگی DFT	۱۳۸
۱۱-۶	DFT به عنوان نگاشت	۱۴۰
۱۲-۶	محاسبات عددی ضرایب DFT	۱۴۰
۱۳-۶	الگوریتم DFT متحرک (لغزشی)	۱۴۷

۷-	الگوریتم Goertzel و FFT	۱۵۵
۱-۷	چه انگیزه ای برای FFT وجود دارد؟	۱۵۵
۲-۷	FFT با استفاده از ده-یکی کردن زمانی (DIT)	۱۵۹
۳-۷	تبدیل فوری سریع با استفاده از ده-یکی کردن فرکانسی	۱۷۱

۱۷۷	پایاده سازی FFT ده-یکی کردن زمانی در MATLAB	۴-۷
۱۷۷	پایاده سازی FFT ده-یکی کردن فرکانسی در MATLAB	۵-۷
۱۷۹	انگیزه ابداع الگوریتم Goertzel	۶-۷
۱۷۹	الگوریتم Goertzel	۷-۷
۱۸۲	پایاده سازی الگوریتم Goertzel در MATLAB	۸-۷
۱۸۵	۸- پنجره گیری و نشتی طیف فرکانسی	
۱۸۵	تبدیل فوریه به عنوان یک ماشین	۱-۸
۱۸۶	پنجره گیری بدون نشتی طیف فرکانسی	۲-۸
۱۹۰	نشتی طیف فرکانسی ناشی از پنجره گیری	۳-۸
۱۹۴	سیگنال پنجره ای و نمونه برداری شده	۴-۸
۱۹۹	۹- آشنایی با فیلتر کردن دیجیتال	
۱۹۹	آشنایی با فیلترها	۱-۹
۲۰۰	یک فیلتر دیجیتال چیست؟	۲-۹
۲۰۲	چرا فیلتر دیجیتال؟	۳-۹
۲۰۳	فیلترهای FIR و IIR	۴-۹
۲۰۶	میانگین متحرک به عنوان فیلتر میانگین متحرک ۵ نقطه ای	۵-۹
۲۱۳	پاسخ فرکانسی فیلتر میانگین متحرک ۳ نقطه ای	۶-۹
۲۱۸	پاسخ فرکانسی فیلتر میانگین متحرک ۴ نقطه ای با استفاده از تبدیل Z	۷-۹
۲۱۹	برنامه MATLAB برای ترسیم پاسخ فرکانسی فیلتر میانگین متحرک N نقطه ای	۸-۹
۲۲۱	آشنایی با فیلترهای پاسخ ضربه نامحدود (IIR)	۹-۹
۲۲۷	۱۰- طراحی فیلتر دیجیتال	
۲۲۷	مشخصات فیلتر	۱-۱۰
۲۲۹	رابطه بین زاویه فاز خطی و تقارن ضرایب فیلتر در فیلترهای FIR	۲-۱۰
۲۳۰	طراحی فیلتر FIR با استفاده از روش نمونه برداری فرکانسی	۳-۱۰
۲۳۶	تبدیل دو خطی	۴-۱۰
۲۴۲	طراحی یک تشدیدگر دیجیتال با استفاده از تعیین مکان قطب و صفر	۵-۱۰

۲۴۹	فازورهای همزمان	۱۱-
۲۴۹	مقدمه	۱-۱۱
۲۵۰	فازور	۲-۱۱
۲۵۲	تعریف فازور همزمان بر طبق استاندارد IEEE Std C37.118.1-2011	۳-۱۱
۲۵۸	برچسب زدن (مهر زدن) زمانی به فازور همزمان	۴-۱۱
۲۶۰	انتشار بر چسب زمان: استاندارد IRIG-B	۵-۱۱
۲۶۱	نرخ گزارش دهی فازور همزمان	۶-۱۱
۲۶۱	دیاگرام بلوکی "رله دیجیتال با قابلیت استفاده از فازور همزمان یا "واحد اندازه گیری فازور (PMU)"	۷-۱۱
۲۶۴	عملکرد PMU در فرکانس غیرنامی	۸-۱۱
۲۷۲	کاربردهای فازور همزمان	۹-۱۱

۲۷۷	حذف مولفه DC	۱۲-
۲۷۷	چرا مولفه های DC میراشونده ایجاد می شوند؟	۱-۱۲
۲۷۹	تأثیر میراشونده بر روی رله ها	۲-۱۲
۲۸۲	فیلتر برای حذف میراشونده دیجیتال	۳-۱۲
۲۸۳	روش محاسبه برای فیلتر کردن مولفه های DC	۴-۱۲
۲۸۵	مشخص کردن خصوصیات مولفه DC میراشونده به وسیله انتگرال گیری	۵-۱۲
۲۸۹	مراجع	

پیش گفتار نویسنده

امروزه، فناوری الکترونیکی با آهنگ نفس کشیدن ما در حال تغییر و پیشرفت است. پیشروی بی وقفه قانون Moor^۱، نه تنها استفاده از قدرت محاسبات را در هر gadget^۲ موجود قابل تصور ممکن ساخته است، بلکه gadgetها و gizmo^۳های کاملاً جدیدی را خلق کرده است. لپ تاپ‌های کوچک امروزی سوپر کامپیوترهای دیروزی را بازنه میکنند. اینترنت و کامپیوتر دیجیتال در همه جا موجود هستند. پیشرفت قابل توجه در فناوری VLSI^۴ باعث شده است که کامپیوتر دیجیتال، با جاداده شدن در عمق بخش‌های درونی سیستمی که کار کنترل آن را انجام می‌دهد، تا حد زیادی ناپیدا شود. شما کامپیوتر دیجیتال جاداده شده را در هر شیء (object) قابل تصدیق در اختیار دارید.

از این‌رو، روند فعلی در حال جایگزین کردن بخش‌های مکانیکی با سخت‌افزار الکترونیکی و سخت‌افزار الکترونیکی با نرم‌افزار می‌باشد. از این‌رو عجب نیست که حوزه حفاظت سیستم قدرت نیز در تلاطم انقلاب دیجیتال گرفتار شده است. نتیجه آن است که رله حفاظتی کاملاً به یک وسیله الکترونیکی هوشمند (IED^۵) تبدیل شده است.

از طرف دیگر، به همان اندازه تغییرات چشم‌گیری در صحنه عمومی سیستم قدرت رخ داده است. محدودیت‌های قانونی کسب و کار شرکت‌های خدماتی برقی، بخش‌های وسیعی از دنیا، برداشته شده است. ملاحظات زیست‌محیطی، توسعه و ازدیاد منابع انرژی غیر متجدد باد خورشیدی، زیست‌توده و غیره را ارتقاء داده است. امروزه در مقایسه با یک دهه قبل، تنوع بیشتری در منابع تولید توان وجود دارد که منجر به چالش‌ها و فرصت‌هایی برای مهندس حفاظت می‌شود.

همه این عوامل، دوره کنونی را برای تمرین و تلاش مهندسان حفاظت، هیجان‌انگیز و جذاب کرده است. با وجود این، چنین شرایطی برای یک تازه‌وارد، با یک بیان محترمانه، گیج‌کننده و آشفته خواهد بود. این بدین علت است که قبل از آنکه شخصی بتواند همه مفاهیم جنگالی دیجیتال را درک کند، درک کردن سه زمینه

^۱ نظری است مبنی بر اینکه تعداد ترانزیستورها در یک مدار یکپارچه (تراشه) متراکم، تقریباً هر دو سال، دو برابر می‌شود. (مترجم) : Moor's Law

^۲ وسایل کوچکی که در آنها فناوری نوینی بکار رفته باشد و برای انجام کارهای بخصوصی بکار روند (مترجم) : Gadget

^۳ gadgetهایی که قسمت‌های متحرک داشته باشند (مترجم) : Gizmo

^۴ یکپارچه سازی در مقیاس کلان (مترجم) : VLSI : Very Large Scale Integration

^۵ Intelligent Electronic Device

^۶ Electric Utility Business

علمی اصلی لازم است. اول آنکه، شخص نبایستی هیچگاه بینش نسبت به اصول بنیادین سیستم‌های الکتریکی را از دست بدهد. عناصر گوناگونی که حفاظت شده‌اند از قبیل ژنراتورها، باس‌بارها، خطوط انتقال و ترانسفورمرها ویژگی‌های منحصر به فرد خودشان را دارند، یعنی مجموعه منحصر بفرد از عکس‌العمل‌ها و رفتارها که آنها را از هر دستگاه دیگری متمایز می‌کند. در ابتدا بایستی این موارد بطور کامل درک شود. دوم آنکه، از آنجایی که اجرای تمام ایده‌ها از طریق فناوری پردازش دیجیتال سیگنال^۱ (DSP) است، شخص به درک کامل از علم و هنر DSP در سطح الگوریتم، نیاز دارد. سوم آنکه، ما به ماشینی به نام ریزپردازنده^۲ DSP نیاز داریم تا بطور عملی الگوریتم‌ها را اجرا کنیم. لذا، درک این لایه فیزیکی از فناوری دیجیتال، به همان اندازه اهمیت دارد.

در نوشته‌ای مثل این کتاب نمی‌توان بطور شایسته به هر سه زمینه‌ای که در بالا ذکر گردید، پرداخت. در اصل ما تلاش کرده‌ایم تا خواننده را با میان‌افزار، یعنی الگوریتم‌های دیجیتالی گوناگون که در قلب رله‌های حفاظتی دیجیتال قرار دارند، آشنا کنیم.

کتاب برای دانشجویان سال آخر کارشناسی و دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی برق، که قبلاً درس حفاظت سیستم قدرت، سیگنال‌ها و سیستم‌ها و ریزپردازنده را گذرانده‌اند، در نظر گرفته شده است. یک دوره در خصوص روش‌های عددی، قطعاً سودمند خواهد بود مهندسین در حال کار با این سیستم‌ها یعنی کسانی که بطور منظم این سیستم‌ها را نصب، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری می‌کنند، کتاب را در عمیق کردن بینش خود نسبت به ایده‌هایی که رله دیجیتال را هوشمند می‌سازد، امید خواهد یافت.

نویسنده خود را مدیون همه پژوهشگران، نوآوران و پیشگامانی می‌داند که فناوری جدید را با مشارکت خود بهبود دادند و این زمینه را فوق‌العاده جذاب نمودند. نویسنده می‌خواهد که از معلم و راهنمایش، پروفیسور Y.G.Paithankar برای معرفی این حوزه جذاب به او در ابتدای دهه ۱۹۹۰، تشکر کند. عشق او به موضوع، شوق برای یادگیری، سادگی و انسانیت خالص او، بسیار الهام‌بخش بوده است. نویسنده همواره خاطرات همکاری‌اش با Dr.Paithankar را گرامی می‌دارد.

نویسنده بعنوان حق‌شناسی از لطف و دلگرمی که از طرف همه همکاران در بخش مهندسی برق، VNIT, Nagpur دریافت کرده است، تقدیر می‌نماید.

و در آخر (البته نه از نظر اهمیت) اینکه، دانشجویان بسیاری که درس کاربردهای DSP در سیستم‌های قدرت و حفاظت دیجیتال را در طی سالهای گذشته گذرانده‌اند، بخاطر نقش برانگیزاننده‌اشان در بهبود درک نویسنده از موضوع و بالابردن بردباری‌اش، شایسته تشکر مخصوص هستند.

S.R. BHIDE

^۱ Digital Signal Processing

^۲ Microprocessor

مقدمه مترجمین

پیشینه استفاده از رله‌های حفاظتی دیجیتال به چند دهه می‌رسد. اخیراً با توسعه روزافزون اتوماسیون پستهای فشار قوی و حرکت سیستمهای قدرت به سمت شبکه‌های هوشمند، استفاده از تکنولوژیهای دیجیتال در حفاظت، کنترل و مانیتورینگ سیستم بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. کتابهای زیادی در خصوص حفاظت سیستم قدرت به طور عام، به انگلیسی و فارسی تألیف یا ترجمه شده‌اند. اما در بحث حفاظت دیجیتال به طور خاص، خلأ یک مرجع جامع به زبان فارسی احساس می‌شود. لذا برآن شدیم کتابی در این زمینه به زبان فارسی ترجمه نماییم. به طوریکه متخصصان و دانشجویان ایرانی به راحتی بتوانند با اصول اولیه و همچنین مباحث پُررشته حفاظت دیجیتال آشنا شوند. در این راستا پس از بررسی مراجع موجود کتاب حاضر را انتخاب نمودیم. این کتاب دارای برتریهایی نسبت به مراجع مشابه است که دلیل انتخاب آنرا توجیه می‌نماید. به عنوان نمونه می‌توان موارد زیر اشاره نمود:

- ✓ کتاب به زبان علم با ادای آلیف شده است و مفاهیم آن برای اکثر متخصصین و دانشجویان، قابل فهم و استفاده می‌باشد.
- ✓ الگوریتمهای دیجیتال مورد استفاد در رله‌های حفاظتی به طور کامل مطرح شده‌اند و کتاب از این دیدگاه مرجعی جامع محسوب می‌شود.
- ✓ علاوه بر اصول اولیه حفاظت دیجیتال، مباحث جدیدتری مانند فازورهای همزمان نیز در کتاب مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند.
- ✓ در مباحث ریاضی مطرح شده در کتاب، صرفاً به بیان ریاضی اکتفا نشده است و تعابیر بسیار جالبی از فرمولهای ریاضی مانند فیلترهای فوریه ارائه شده است که درک مطالب را برای خواننده تسهیل می‌نماید.

با توجه به موارد فوق، این کتاب می‌تواند مرجع مناسبی برای درس "حفاظت دیجیتال سیستمهای قدرت" باشد که مخاطب آن دانشجویان تحصیلات تکمیلی مهندسی برق قدرت می‌باشند. علاوه بر جامعه دانشگاهی، متخصصین صنعت برق در حوزه حفاظت نیز می‌توانند از مطالب مطرح شده استفاده نمایند. قطعاً این اثر به خصوص در ویرایش اول خالی از اشکال نخواهد بود. لذا از کلیه متخصصین و صاحبان نظران ارجمند حوزه حفاظت سیستم قدرت صمیمانه دعوت به عمل می‌آید که نقطه‌نظرات ارزشمند خود را جهت بهبود این اثر از طریق آدرس پست الکترونیکی زیر با ما در میان بگذارند.