



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش:

قدرت

عنوان:

کاربرد DSP در حفاظت و کنترل دیجیتال سیستم قدرت الکتریکی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر ابوالفضل جلیلود

نگارش:

سیده نسیم عدنانی 88442152

مهر 1392

فهرست مطالب

مقدمه.....	6
فصل اول: حالات غیر عادی در سیستم های قدرت	
معرفی.....	9
خطاها و پدیده های غیر عادی در شبکه های قدرت.....	10
سیگنالهای ضابطه.....	13
ملزومات تجهیزات حفاظتی.....	14
فصل دوم: توسعه سخت افزاری و تابعی سیستم ها و تجهیزات حفاظتی	
نسلهای حفاظت.....	21
بلوکهای عملکردی یک تجهیز حفاظتی دیجیتال.....	29
فیلتر کردن انالوگ.....	29
فرآیند نمونه برداری و تبدیل مبدل انالوگ به دیجیتال.....	33
پردازش سیگنال دیجیتال.....	38
ساختار سلسله مراتبی کنترل و حفاظت.....	40
خلاصه فصل دوم.....	43
فصل سوم: فیلترها با پاسخ ضربه نامحدود.	
اساس فیلترهای پاسخ ضربه نامحدود.....	43
سنتز فیلترهای پاسخ ضربه نامحدود.....	49
اعمال تبدیل دوخطی.....	49

50.....	سنتر یک فیلتر پایین گذر IIR.....
51.....	سنتر فیلتر دیجیتال IIR بالا گذر.....
52.....	سنتر فیلتر دیجیتال IIR میان گذر.....
53.....	سنتر فیلتر دیجیتال IIR میان نگذر.....
57.....	به کار گیری روش تغییرناپذیری پاسخ ضربه.....
	فصل چهارم: فیلترهای پاسخ ضربه محدود FIR
64.....	مفاهیم پایه.....
67.....	انالیز فیلترهای FIR استاندارد.....
67.....	فیلترهایی با پنجره WALSH.....
78.....	فیلترهایی با پنجره های سینوسی/اکسینوسی.....
	فصل پنجم: تصمیم گیری در رله های حفاظتی
91.....	تصمیم گیری قطعی.....
95.....	تست فرضیه اماری.....
103.....	تصمیم گیری با ضوابط چند گانه.....
108.....	روشهای تصمیم گیری وفق پذیر.....
110.....	وفق پذیری رله دیفرانسیلی.....
116.....	منابع.....

مقدمه

سیستم قدرت الکتریکی پایه و اساس زندگی صنعتی و اقتصادی امروزی است. نمیتوان عملکرد دستگاه‌ها بدون این سیستم تغذیه‌ی مداوم و بدون وقفه‌ی الکتریسیته که هم در صنعت هم در بسیاری از بخشهای زندگی امروزه مورد نیاز است، تصور نمود. کاربران انرژی الکتریسیته گاهی آن را به عنوان یک چیز تضمینشده، مثل ماده اولیه یا حتی مثل یکی از حقوق بشر در نظر میگیرند.

انرژی الکتریسیته در نیروگاههای برق تولید میشود و سپس در مسیرهای طولانی منتقل و سپس به مصرف کننده‌های نهایی اعم از صنعتی و محلی توزیع میشوند. شبکه‌ی برق یک ساختار وسیع است که شامل تعداد زیادی ژنراتور در نیروگاهها یا در منابع انرژی پراکنده، صدها هزار کیلومتر خط، هزاران ترانسفورمر، باسبار، و تجهیزات دیگر میباشد. این ساختار میبایست تعمیر کنترل و حفاظت شود در برابر خطاهای احتمالی و پدیده‌های غیر عادی دیگر. در نتیجه تعداد زیادی تجهیزات حفاظتی و کنترلی با هدف برآوری سیستمهای قدرت روان و مداوم در شبکه‌های قدرت مدرن به کار رفته و نصب شده‌اند. اکثر آنها امروزه توسط تکنولوژی دیجیتال تولید میشوند و نقش خود را با محابات عددی و تجزیه و تحلیل سیگنال انجام میدهند.

کتابهای زیادی در ارتباط با حفاظت و کنترل سیستم قدرت تیوری پایه و همچنین به کارگیری ضوابط حفاظت را شرح میدهند که منجر از فهم ماهیت فیزیکی پدیده‌ی رخ داده شده میشود، برای حفاظت از امان‌های مخصوصی از شبکه قدرت و برقراری بی‌عیب سیستم. بنابراین نویسنده‌ها این زمینه را پوشش خواهند داد. به جای آن، نگاه عمیق به درون عملکرد تجهیزات حفاظتی و کنترلی دیجیتال مطرح شده، که شامل جزئیات سخت افزاری و نرم افزاری است. این پروژه به منظور تهیه اطلاعاتی راجع به روشهای پردازش سیگنال و الگوریتمهایی که برای اندازه‌گیری مقادیر ضوابط (criteria) ی حفاظت که پایه و اساس تصمیم‌گیری نهایی در رله‌های حفاظتی هستند، گردآوری شده است. هدف این پروژه ایجاد ارتباط میان تیوری حفاظت و کنترل با به کار بستن عملی تجهیزات حفاظتی میباشد. فهم روشهای عملکرد حفاظت نه تنها برای تولید کنندگان تجهیزات اساسی است بلکه برای مشتریان آنها که قرار است که تجهیزات حفاظتی را به حالت مناسب نصب و تنظیم و راه اندازی کنند نیز اساسی است.

اطلاعات گردآوری شده در اینجا میتواند برای مهندسان حفاظت که در قسمتهای مختلف شبکه مشغولند، در صنایعها، و همچنین برای دانشجویان مهندسی برق به ویژه مهندسی برق قدرت مفید باشند. همچنین برای کسانی که مایلند با این موضوع آشنا شوند و الگوریتمهای فیلترینک و اندازه‌گیری و تصمیم‌گیری را برای

اهدافی غیر از حفاظت و کنترل به کار برند، هر جا که تجزیه و تحلیل سریع و روی خط برای عملکرد مناسب عملگر احتیاج باشد نیز مفید است. در این پروژه در ابتدا نگاه مختصری به حالت‌های غیر عادی در شبکه‌های قدرت و شمارش ضوابط و criteriaها برای تشخیص و رفع آنها می‌اندازد. سپس توسعه عملکردی تجهیزات و سیستم‌های حفاظت نشان داده میشود، با توضیح مختصری از بلوک‌های عملکردی حفاظت و جایگاه رله‌های حفاظتی در سیستم‌های حفاظت و کنترل گسترده شبکه‌های قدرت. پایه و اساس آنالیز سیگنال و سیستم در منابع و مآخذ آورده شده که شامل همه‌ی تبدیلهای مورد نیاز در آنالیز گسسته و پیوسته میباشد، که در واقع پایه‌ی الگوریتم‌های پیچیده بعدی میباشد.

الگوریتم‌های دیجیتال برای فیلتر کردن سیگنال توسط پاسخ ضربه محدود و نامحدود آورده شده اند. که به دنبالش روش‌ها و الگوریتم‌هایی که می‌توان برای اصلاح و بازسازی اضافی سیگنال‌های ولتاژ و جریان ثانویه‌ی ترانسفورمرها به کار برد آورده شده است. الگوریتم‌های اندازه‌گیری مقادیر ضوابط حفاظت معمول که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز بیان شده اند. که در آنجا در دینامیک و شاخص‌های آنها در دامنه فرکانس مورد بحث واقع شده اند و تعدادی الگوریتم وفق پذیر معرفی شده اند. در نهایت روش‌های تصمیم‌گیری به روش احتمالیو قطعی و همچنین ضوابط چندتایی و روش‌های وفق پذیر تصمیم‌گیری توضیح داده شده اند.

از تیوری‌های پایه و به کارگیری تکنیک‌های هوش مصنوعی انتخاب شده برای حفاظت و کنترل روش‌های بر پایه‌ی منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم‌های expert و الگوریتم‌های ژنتیک موجودند که در اینجا از میان این روش‌ها فقط به بررسی شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌پردازیم. تکنیک‌های ارائه شده با هم مقایسه شده و ترکیب‌های سودمند (هیبرید) آنها نشان داده شده اند که امید میرود که معایب را رفع و قابلیت‌های خوب برخی از تکنیک‌ها را بزرگ کنند.

تیوری گردآوری شده در اینجا با مثال‌های محاسباتی زیادی به همراه مثال‌هایی از به کارگیری الگوریتم‌ها در حفاظت سیستم‌های قدرت بیان شده اند. توجه ویژه‌ای برای به کارگیری روش‌های هوشمند و نمونه‌هایی که به نظر احتمال بزرگی برای بهبود عملکرد تجهیزات حفاظتی دارند شده است.

فصل اول

حالات غیر عادی در سیستم های قدرت و معیارهای تشخیص آنها

۱.۱ معرفی

تجهیز حفاظتی به منظور به حداقل رساندن آثار خطاها و دیگر پدیده های غیر عادی در عملکرد سیستم های قدرت الکتریکی به کار برده می شوند. یک سیستم قدرت الکتریکی در واقع تمامی پست های مورد نیاز جهت تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، شامل ژنراتورها، ترانسفورماتورهای قدرت، خطوط و کابلها، circuit breakerها و غیره میباشد.

خطاها در سیستم های قدرت میتوانند ناشی از آثار بیرونی یا درونی باشند، whereas دلایل عمده ی حالات غیر عادی عبارتند از:

- اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه
- اتصال کوتاه های ناشی از تخریب مکانیکی یا اتصال بین عایق ها (مثلا به هنگام عملیات جاده ای، افتادن درختها، حیوانات، پرندگان و ...)
- اضافه بار حرارتی (اضافه جریان)
- پیری عایقی
- اشتباهات تعمیرات/کارکنان
- پدیده های آب و هوایی (سیل، زلزله، بارش سنگین برف، یخ بستگی، وزش باد شدید و ...)

نتایج حاصل از خطا عبارتند از:

- آسیب به پست ناشی از آثار حرارتی و مکانیکی جریان خطا
 - بی برق شدن بارها
 - خطرات جانی
 - از بین رفتن پایدار سیستم
 - احتمال وقایع پشت سر هم که منجر به خاموشی میشوند.
- تجهیزات حفاظتی با تریپ دادن، الارم یا سیگنال دادن، بسته به عواقب مورد انتظار از پدیده ی رخ داده شده به آن پدیده پاسخ می دهند. (جدول ۲.۱ را ببینید). همانطور که مشاهده می شود، تجهیزات حفاظتی همواره برای تریپ دادن ساخته نشده اند، بلکه گاهی یک الارم یا سیگنال دهی کافی است، البته بسته به وضعیت موجود.
- اگرچه، پدیده غیر عادی می بایست به طور بی وقفه شناسایی و دسته بندی شود، که با اندازه گیری مقادیر معیار معینی انجام می گیرد. در زیر بخش های ذیل پدیده های خطرناک برای اکثر تجهیزات سیستم های قدرت آورده شده اند، معیار های حفاظت برای تشخیص خطاها شمرده شده اند و نیاز های اولیه برای تجهیزات حفاظتی مورد بحث واقع شده اند.
- جدول ۲.۱ پدیده های انتخابی و عکس العمل های احتمالی حفاظتی

رخداد و وظیفه	خطا	اسبب	عملکرد
اتصال کوتاه	بله	بله	پاسخ با فرمان تریپ محدود
سازي محدوده اسبب	بله	بله	پاسخ با فرمان تریپ محدود
خطای زمین خطا و موقعیت آن	بله	خیر	پاسخ با سیگنال دهی اظهار
عدم تعادل اضافه بار از خسارات احتمالی	خیر	خیر	پاسخ با فرمان / سیگنال جلوگیری
اضافه ولتاژ از خسارات احتمالی	خیر	خیر	پاسخ با فرمان / سیگنال جلوگیری
افت ولتاژ افت فرکانس	خیر	خیر	پاسخ با فرمان / سیگنال جلوگیری

۱.۲ خطاها و پدیده های غیر عادی در شبکه های قدرت

رله های حفاظتی می بایست بین عملکرد عادی و شرایط ناشی از مواقع غیر عادی، شامل اتصال کوتاه ها و تاثیرات دیگر که میتوانند برای تجهیز حفاظت شده خطرناک باشند و بر کارکرد سیستم قدرت اثر سو بگذارند، تمییز قابل شوند. در شرایط کار عادی سیستم قدرت با مشخصات زیر شناخته می شود:

- جریان ها و ولتاژهای سه فاز تقریباً متقارن
- جریان کار زیر سطوح پیش فرض (شامل اضافه ولتاژ های مجاز)
- سطح ولتاژ بین محدوده مجاز حول و حوش مقدار نامی
- فرکانس سیگنال ها برابر یا بسیار نزدیک به ۶۰/۵۰ Hz
- بخش هارمونیکی در محدوده ی مجاز

کیفیت توان مورد نیاز مصرف کننده و برآورنده ی استانداردها

البته، سیستم قدرت به ندرت در یک وضعیت ایده ال قرار دارد، بنابراین سیگنال های جریان و ولتاژ ممکن است بسته به تغییر بار و تولید و همچنین عملیات کلید زنی دچار تغییر شوند. در برق آزمایشگاه پروژه برق

باید اشاره کنیم که وقوع برخی پدیده ها در سیستم های قدرت تحت شرایط کار عادی ممکن است بدلیل دور شدن پارامترهای سیگنال های ولتاژ یا جریان از مقادیر نامی شان مثل یک حالت غیر عادی دیده شوند. اما، دلیل انها همیشه خطا نیست و حفاظت نباید در چنین مواردی عمل کند. مثالهایی از چنین مواردی عبارتند از:

- شارژ خط انتقال بعد از کلید زنی
- وصل موتورهای القایی بزرگ
- جریان های هجومی ناشی از انرژی گرفتن ترانسفورماتورهای قدرت
- ایستایفوق تحریک (اضافه شار) ترانسفورماتورهای قدرت به دلیل افزایش ولتاژ یا/و کاهش فرکانس
- بار نامتقارن
- گردشهای فرکانسی یا سوپینگ توان و ...

در این شرایط شاهد افزایش جریان های فراتر از حدود مجاز ، ظهور مولفه های توالی صفر و منفی ، افزایش بخش های هارمونیک و ... خواهیم بود، که نشانگر این هستند که ظاهرا خطایی رخ داده است. مشکلات دیگری ممکن است بدلیل اشباع ترانسفورماتورهای جریان ناشی از خطاهای خارجی رخ دهند ، که به طور عمده اطلاعات منتقل شده به تجهیزات حفاظتی را دچار خطا میکند. بنابراین مجموعه ی مناسبی از معیارها به جای فقط یکی غالباً اعمال می شود ، که منجر به راه حل های چند-ضابطه ای می شود که با افزایش پایداری در مقابل عملکردهای ناخواسته همراه است.

تجهیزات حفاظتی می بایست یک تصمیم اخطار / تریپ را به هنگام وقوع خطا ها در منطقه یا پست حفاظت شده عنوان کنند. لازم به ذکر است که خطاها ممکن است انواع مختلفی، شدت و آثار احتمالی مختلفی داشته باشند. خطرناک ترین اتصال کوتاه ها هستند، چرا که جریانی که در این حالات از مدار عبور می کند ضریب بسیار بزرگی از مقدار نامی ان است. سطح جریان خطا وابسته به پارامترهای زیادی شامل موارد زیر میباشد:

سطح ولتاژ، حالت عملکردی نقطه ی ستاره ی شبکه (ایزوله، زمین شده با مقاومت، یا جبران شده)، مقاومت خطا ، نوع خطا، و غیره.

برای المان های مشخصی از سیستم قدرت انواع خطاها و پدیده های غیرعادی زیر قابل بیان هستند، که رله های حفاظتی می بایست به انها پاسخ دهند:

- خطاهای SLG
- خطاهای دو فاز
- خطاهای دو فاز به زمین
- خطاهای سه فاز

- خطاهای امپدانس بالا
- خطاهای جرقه زنی نوبتی

• اضافه بار

-باص بارها

- اتصال کوتاه های فاز به زمین
- خطاهای فاز

-ترانفورماتور های قدرت:

- خطاهای زمین
- خطاهای فاز در ترمینال ها
- اتصال کوتاه بین دورها
- اتصال کوتاه بین سیم پیچی ها
- ایرادات تپ چنجر
- چکه های مخزن روغن ترانسفورماتور
- فوق تحریک
- اضافه بار

-ژنراتورهای سنکرون:

- خطاهای زمین
- خطاهای فاز بین سیم پیچی ها
- خطاهای بین دورها
- خطاهای زمین دوبله

• اضافه بار استاتور / روتور

• تحریک نقصانی

• لغزش قطب

• افت / افزایش فرکانس

• اضافه ولتاژ

• بار نامتقارن

• موتور شدگی

-موتورهای سه فاز HV :

- خطاهای فاز بین سیم پیچی هلی استاتور یا روی تحریک موتور (فیدر موتور)

- خطاهای فاز روی سیم پیچی ایتاتور
- اتصال کوتاه های بین دوری استاتور

- اضافه بار
- عدم تعادل فاز

- افت ولتاژ (voltage dips)
- عملکرد نامتقارن (در حالت ماشین های سنکرون).

هر کدام از انواع خطاهای نشان داده شده در بالا از روی تعیین (اندازه گیری) معیارهای ویژه ای، که (ضابطه) Criteria خوانده میشوند، و از پردازش اطلاعات درون سیگنالهای جریان، ولتاژ و دیگر سیگنالها حاصل میشوند، قابل تشخیص هستند. در ذیل لیستی از criteriaهایی که بیشترین استفاده را دارند آورده شده است. هدف از این پروژه این نیست که به کار بردن این ضوابط را برای المان های بخصوص سیستم قدرت به طور کامل مورد بحث قرار دهد و یا اینکه قوانین حکم بر تنظیمات رله ها و هماهنگ سازی آنها را بیان کنیم. هدف اصلی بر روش ها و الگوریتم های دقیق برای اندازه گیری مقادیر معیارها است که در بخش های بعدی توضیح داده میشود.

• ۱.۳ سیگنالهای criteria

اضافه جریان

اضافه جریان زمانی رخ میدهد زمانی که جریان بار ماکزیمم مجاز برای یک ایتم از سیستم الکتریکی (electrical plant) از آن حد فراتر رود. تجهیزات حفاظتی اضافه جریان جریانی که توسط واحد حفاظت شده هدایت میشود را مورد نظارت قرار میدهند و زمانی که جریان از حد تنظیم شده فراتر رفت فرمان تریپ را به circuit breaker صادر میکنند (چنین رله ای pick-up current نام دارد). طبق سرعت عملکرد میتوان رله های فوریو رله های اضافه جریان با تاخیر زمانی (زمان ثابت یا زمان معکوس) را شناسایی کرد.

اضافه ولتاژ یا افت ولتاژ

این رله ها زمانی که ولتاژ های اندازه گیری شده از حدود مجاز فراتر میروند عمل میکنند.

فرکانس

انحراف فرکانس از مقدار نامی آن به معنای عدم تعادل توان در سیستم است.

Principle دیفرانسیلی

تغییر اندازه جریان یا زوایای فاز در ترمینالهای تجهیز حفاظت شده نشانه مشخصی از خطای درونی است.

امپدانس

امپدانس برای شناسایی خطاهای روی سیستم های انتقال یا تحریک نقصانی یا شرایط out-of-step ژنراتورها اندازه گیری می شود.

مولفه های متقارن

در بعضی از کاربردها، آنها برای اهداف حفاظتی مناسب تر از مقادیر فاز هستند. خطاهای ساده که توسط نظارت بر مولفه های متقارن شناسایی میشوند عبارتند از: خطاهای فاز به فاز و خطاهای زمین در سیستم های solid و سیستم های زمین شده با مقاومت کم، خطاهای زمین در سیستم های ولتاژ متوسط (زمین نشده یا شبکه های با اندوکتانس زمین شده)، پیکر بندی سیستم به طور نامتقارن، بار نامتقارن و هادی فاز مدار باز.

جهت توان

تمایز جهت انتقال توان در ترکیب با واحدهای اضافه جریان به کار برده میشود زمانی که criterion اضافه جریان به تنهایی برای حفظ انتخاب پذیری تریپ کافی نیست. کاربردهای معمول برای سلکتیو کردن رله ها برای خطوط حلقوی و موازی هستند.

ضوابط دیگر

ضوابط دیگر که توسط تجهیزات حفاظتی استفاده میشوند عبارتند از:

- دما (کاربرد معمول: دمای روغن ترانسفورماتور)
- درجه ی جریان روغن، انباشتگی گاز (برای تشخیص خطاهای درونی ترانسفورماتور)
- هارمونیک ها در جریان و ولتاژ خنثی (برای تشخیص خطاهای زمین در سیستم های زمین شده ی با اندوکتانس)
- هارمونیک ها در جریان ژنراتور (برای تشخیص خطاهای درونی ژنراتور)
- سیگنالهای گذرای جریان و ولتاژ، امواج مسافر (☺) مثلا در حفاظت خطوط انتقال و مکان خطا.

یک نکته کلی ساده بر چگونگی اعمال شدن ضوابط برای حفاظت در برابر پدیده های غیر عادی مرسوم در جدول ۲.۲ بیان شده است. بحث دیگری در اینجا مطرح نمیشود، برای قوانین جزئی حفاظت المانهای بخصوص سیستم قدرت میتوان به کتابهای دیگری که در مراجع آورده شده مراجعه نمایید.

۱.۴ ملزومات تجهیزات حفاظتی

تجهیزات یا رله های حفاظتی متاسفانه نمیتوانند از وقوع خطاها جلوگیری به عمل آورند بلکه بعد از وقوع خطا عمل میکنند. تجهیزات حفاظتی طراحی میشوند تا:

جدول ۲.۲ خطاها و ضوابط تشخیص آنها

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

منابع:

۱. Bothe HH (۱۹۹۸) Neuro-Fuzzy-Methoden. Einfuehrung in Theorie und Anwendungen .

Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg, ISBN: ۹۷۸-۳-۵۴۰-۵۷۹۶۶-۴

۲. Bunyagul T, Crossley P, Galac P (۲۰۰۱) Overcurrent protection using signals derived from

,saturated measurement CTs. In: Proceedings of PES summer meeting, vol ۱. Vancouver

pp ۱۰۳-۱۰۸

۳. Chen KW, Glad ST (۱۹۹۱) Estimation of the primary current in a saturated transformer. In

,Proceedings of the ۲۰th conference on decision and control, vol ۳. Brighton, England

pp ۲۳۶۳-۲۳۶۵

۴. Chow TWS, Cho SY (۲۰۰۷) Neural networks and computing. Imperial College Press .

London

۵. Dalstain T, Kulicke B (۱۹۹۵) Neural network approach to fault classification for high speed

protective relaying. IEEE Trans Power Deliv ۱۰:۱۰۰۲-۱۰۱۱

۶. Dillon TS (Convenor) (۱۹۹۵) Fault diagnosis in electric power systems through AI

techniques. Report by TF ۳۸.۰۶.۰۲, Electra ۱۵۹

۷. El-Sharkawi MA (۱۹۹۵) Neural network application to high performance electric drives

systems. In: Proceedings of the IEEE IECON international conference, vol ۱, pp ۴۴-۴۹

EMTP-ATP Manuals (۲۰۰۱), EEUG .

۹. Fuller R (۲۰۰۰) Introduction to neuro-fuzzy systems. Physica-Verlag, Springer, Heidelberg .

۱۰. Funabashi K (۱۹۸۹) On the approximate realization of continuous mappings by neural

networks. Neural Networks ۲:۱۸۳-۱۹۲

۱۱. -Halinka A, Winkler W, Witek B (۱۹۹۵) Fault detection and recognition in generator

transformer units by neural network based adaptive protection. In: Proceedings of the ۳۰th

UPEC conference, vol ۱. London, UK, pp ۸۲-۸۴

۱۲. Kang YC, Lim UJ, Kang SH (۲۰۰۴) Compensating algorithm for the secondary current for

use with measuring type current transformers. In: Proceedings of the international conference on advanced power system automation and protection, Jeju, Korea, pp ۳-۸

Kang YC, Park JK, Kang SH, Johns AT, Aggarwal RK (۱۹۹۶) Development and hardware .۱۳

implementation of a compensating algorithm for the secondary current of current transformers. IEE Proc Electr Power Appl ۲۴۳:۴۱-۴۹

Kang YC, Park JK, Kang SH, Johns AT, Aggarwal RK (۱۹۹۷) An algorithm for .۱۴

compensating secondary current of current transformer. IEEE Trans Power Deliv ۱۲:۱۱۶-۱۲۴

Kang Y, Kang S, Crossley P (۲۰۰۳) An algorithm for detecting CT saturation using the .۱۵
secondary current third-derivative function. In Proceedings of the IEEE Bologna powertech

conference, pp ۳۲۰-۳۲۶

—Kasztenny B, Mazereeuw J, Jones K (۲۰۰۱) CT Saturation in industrial applications .۱۶

analysis and application guidelines. GE Multilin, Canada, Publ. GET-۸۵۰۱

Kasztenny B, Rosołowski E, Łukowicz M, I _ zykowski J (۱۹۹۷) Current related relaying .۱۷

algorithm immune to saturation of current transformers. In: Proceedings of the developments in power system protection, Conference publication No. ۴۳۴, pp ۳۶۵-۳۶۸

.Kezunovic M et al (۱۹۹۴) Neural network applications to real-time and off-line fault analysis .۱۸

,In Proceedings of the conference intelligent system application to power systems, Montpellier France, pp ۶۶۵-۶۷۱

Kezunovic M et al (۱۹۹۸) Practical intelligent system applications to protection, and .۱۹

,substation monitoring and control. In: Proceedings of the CIGRE Session, Paris, France

Paper ۳۴-۱۰۴

Kezunovic M, Fromen CW, Phillips F (۱۹۹۴) Experimental evaluation of EMTP-based .۲۰

current transformer models for protective relay transient study. IEEE Trans Power Deliv

۴۱۳-۹:۴۰۵

Koglin HJ, Kostyla P, Lobos T, Waclawek Z (۱۹۸۸) Voltage waveforms analysis for arcing .۲۱

faults detection on transmission lines. In: Proceedings of the 11th international conference on power system protection, Bled, Slovenia, pp 147-152

Kohonen T (1984) Self-organization and associative memory. Springer, New York .22

Li F, Li Y, Aggarwal RK (2002) Combined wavelet transform and regression technique for secondary current compensation of current transformer. IEE Proc Gener Transm Distrib

503-149:497

Lu CN, Wu HT, Vemuri S (1992) Neural networks based short term load forecasting. In: proceedings of the IEEE power engineering society winter meeting, WM 12-00 PWRS

Lukowicz M, Rosolowski E (1998) Artificial neural network based dynamic compensation of

current transformer errors. In: Proceedings of the 8th international symposium on short circuit currents in power systems, Brussels, Belgium, pp 19-24

MATLAB - Neural Network Toolbox .26

Michalik M, Lukowicz M, Rebizant W, Lee SJ, Kang SH (2008) New ANN-Based

algorithms for detecting HIFs in multigrounded MV networks. IEEE Trans Power Deliv

66-23:58

Neibur D (Convenor) (1995) Artificial neural networks for power systems. Report by TF

Electra 109, 38.06.06

Rebizant W (2000) ANN based detection of OS conditions in power system. In: Proceedings

,of the 12th international conference on power system protection PSP2000, Bled, Slovenia

pp 51-56

Rebizant W, Bejmert D (2005) Current transformer saturation detection with genetically

optimized neural networks. In: Proceedings of the IEEE powertech conference, St. Petersburg

Russia, paper 220

Rebizant W, Bejmert D (2007) Current-transformer saturation detection with genetically

optimized neural networks. IEEE Trans Power Deliv 22:820-827

Rebizant W, Bejmert D, Schiel L (2007) Transformer differential protection with neural

network based inrush stabilization. In: Proceedings of the IEEE powertech conference, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland, paper ٦٠٧

Rebizant W, Bejmert D, Staszewski J, Schiel L (٢٠٠٧) CT saturation detection and correction .٣٣

with artificial neural networks. In: Proceedings of the ٢nd international conference on advanced power system automation and protection, Jeju, Korea, paper ٥٠٤

Rebizant W, Szafran J, Feser K, Oechsle F (٢٠٠١) Evolutionary improvement of neural .٣٤

classifiers for generator out-of-step protection. In: Proceedings of the IEEE porto powertech conference, Porto, Portugal, vol ٤, paper PRL١-٢٢٣

Rebizant W, Szafran J, Feser K, Oechsle F (٢٠٠٢) Evolutionaere Optimierung neuronaler .٣٥

Klassifikatoren fuer den Generatorschutz. ELEKTRIE, Berlin ٥٦:٥١-٥٦

Rebizant W, Szafran J, Oechsle F (٢٠٠١) Out-of-step protection with genetically optimized .٣٦

neural networks. In: Proceedings of the ١٠th international conference on present-day

problems of power engineering, vol. ٢. Gdansk-Jurata, Poland, pp ٣٩-٤٦

Rebizant W, Hayder T, Schiel L (٢٠٠٤) Prediction of CT saturation period for differential .٣٧

relay adaptation purposes. In: Proceedings of the international conference on advanced power

system automation and protection, Jeju, Korea, pp ١٧-٢٢

Rumelhart DE, McClelland (١٩٨٦) Parallel distributed processing: exploration in the .٣٨

microstructure of cognition. MIT Press, Cambridge

Saha MM, Izykowski J, Lukowicz M, Rosolowski E (٢٠٠١) Application of ANN method for .٣٩

instrument transformer correction in transmission line protection. In: Proceedings of the IEE

development in power system protection conference, Publication No. ٤٧٩, pp ٣٠٣-٣٠٦

Santoso NI, Tan OT (١٩٩٠) A neural network based real-time control of capacitors installed .٤٠

on distribution systems. IEEE Trans Power Deliv ٥:٢٦٦-٢٧٢

Uhrig RE (١٩٩١) Potential applications of neural networks to nuclear power plants. In Proc .٤١

Am Power Conf ٥٣(٢):٩٤٦-٩٥١

Wong KP, Phuoc TN, Attikiouzel Y (۱۹۹۰) Transient stability assessment for single machine power systems using neural networks. In: Proceedings of the IEEE conference on computer and communication systems, pp ۳۲-۳۶

Wu QH, Hog BW, Irwin GW (۱۹۹۲) A neural network regulator for turbo generators. IEEE Trans Neural Networks ۳:۹۵-۱۰۰

Yu DC, Cummins JC, Wang Z, Yoon HJ, Kojovic LA (۲۰۰۱) Correction of current transformer distorted secondary current due to saturation using artificial neural networks. IEEE Trans Power Deliv ۱۶:۱۸۹-۱۹۴

Baum CW, Veeravalli VV (۱۹۹۴) A sequential procedure for multi-hypothesis testing. IEEE Trans Inf Theory ۴۰:۱۹۹۴-۲۰۰۷

Cholley P et al (۲۰۰۰) System protection schemes in power networks. CIGRE Study Committee Task Force SCTF ۳۸.۰۲.۱۹. Final draft v۰.۰

Dowdy S, Wearden S (۱۹۸۳) Statistics for research. Wiley, New York. ۳

Jampala AK, Venkata SS, Damborg MJ (۱۹۸۹) Adaptive transmission protection: concepts and computational issues. IEEE Trans Power Deliv ۴:۱۷۷-۱۸۵

Kasztenny B, Rebizant W, Szafran J (۱۹۹۴) Probabilistic approach to estimation of criterion values and decision making process of power system protection. Adv Model Anal ۳۱:۳۱-۴۰

Numerical differential protection relay for transformers, generators, motors and mini busbars. ۶
Instruction Manual, Order No. C۰۳۰۰۰-G۱۱۷۶-C۱۶۰-۲۷ (۲۰۰۶)
UT۶۱۳/۶۳x V.۴.۰۶

SIEMENS AG

Rebizant W (۱۹۹۵) Probabilistic characteristics of signals and criterion values of power system protections and their application. PhD dissertation, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland (in Polish)

Rebizant W (۲۰۰۸) Adaptive and intelligent approaches in contemporary protection systems. ۸

In: Proceedings of the international summer CRIS workshop on distributed and renewable power generation, O-v-G Universitaet Magdeburg, Germany, pp ۱۴۲-۱۴۷

Rebizant W, Feser K, Hayder T, Schiel L (۲۰۰۴) Differential relay with adaptation during saturation period of current transformers. In: Proceedings of the ۱۴th international conference on power system protection, Bled, Slovenia, pp ۱۲۴-۱۲۹

Rebizant W, Szafran J (۱۹۹۹) Power system fault detection and classification using probabilistic approach. Eur Trans Electr Power ۹:۱۸۳-۱۹۱

Rehtanz C (۲۰۰۱) Online stability assessment and wide area protection based on phasor measurements. In: Proceedings of the ۹th symposium on bulk power system dynamics and control, Onoomichi, Japan

Sakaguchi T (۱۹۸۰) A statistical decision theoretic approach to digital relaying. IEEE Trans Power Apparatus Syst ۰:۱۹۱۸-۱۹۲۶

Thorp JS, Horowitz SH, Phadke AG (۱۹۸۸) The application of an adaptive technology to power system protection and control. In: Proceedings of the CIGRE session, Rep. ۳۴-۰۳

Ungrad H, Winkler W, Wiszniewski A (۱۹۹۰) Protection techniques in electrical energy systems. Marcel Dekker, New York

:Winkler W, Wiszniewski A (۱۹۹۰) Adaptive protection—potential and limitation. In Proceedings of the CIGRE SC۳۴ colloquium, Stockholm, Rep. ۳۴-۲۰۶

Wiszniewski A, Rebizant W, Schiel L (۲۰۰۶) Modified strategy for protection of power transformers. In: Proceedings of the international symposium on modern electric power systems, Wroclaw, Poland, pp ۳۳۷-۳۴۱

References

Altuve CM, Diaz I, Vasquez E (۱۹۹۶) Fourier and Walsh digital filtering algorithms for distance protection. IEEE Trans Power Syst ۱۱:۴۰۷-۴۶۲

Azizi SA (۱۹۹۰) Entwurf und Realisierung digitaler filter. R. Oldenburg, Verlag, München. ۲

Blackman NM (۱۹۷۴) Sinusoids versus Walsh functions. Proc IEEE ۶۲:۳۴۶-۳۵۴ .۳

Bozic M (۱۹۷۹) Digital and Kalman filtering. Edward Arnold Ltd., London .۴

Hamming RW (۱۹۸۹) Digital filters. General Publishing Company, Toronto .۵

Jackson LB (۱۹۹۶) Digital filters and signal processing. Kluwer Academic Publisher, Boston .۶

Szafran J, Wiszniewski A (۲۰۰۱) Measurement and decision algorithms of digital protection .۷

(and control. WNT, Warszawa (in Polish

Ungrad H, Winkler W, Wiszniewski A (۱۹۹۵) Protection techniques in electrical energy .۸

systems. Marcel Dekker Inc., New York

References

Jackson LB (۱۹۹۶) Digital filters and signal processing. Kluwer Academic Publishers, Boston .۱

Lam HY-F (۱۹۷۹) Analog and digital filters, design and realization. Prentice-Hall, Englewood .۲

Cliffs

Oppenheim AV, Schaffer RW (۱۹۷۵) Digital signal processing. Prentice-Hall, Englewood .۳

Cliffs

Rabiner LR, Gold B (۱۹۷۵) Theory and application of digital signal processing. Prentice-Hall .۴

Englewood Cliffs

Szafran J, Wiszniewski A (۲۰۰۱) Measurement and decision algorithms of digital protection .۵

(and control. WNT, Warszawa (in Polish

Vegte de JV (۲۰۰۲) Fundamentals of digital signal processing. Prentice-Hall, Englewood Cliffs .۶

References

Adamiak MG, Novosel D, Kasztenny B, Madani V, Sykes J, Phadke AG (۲۰۰۶) Wide area .۱

protection and control—today and tomorrow. IEEE Publ No ۰۰-۷۸۰۳-۹۱۹۳-۴/۰۶

Benmouyal G, Schweitzer EO, Guzman A (۲۰۰۲) Synchronized phasor measurement in .۲

:protective relays for protection, control, and analysis of electrical power systems. In

Proceedings of the western protective relay conference, Spokane, Washington

Bertsch J, Karlsson D (۲۰۰۵) Wide-area protection and power system utilization. Proc IEEE .۳
۱۰۰۳-۹۳:۹۹۷

Brand KP, Brunner C, Wimmer W (۲۰۰۴) Design of IEC ۶۱۸۵۰ based substation automation .۴
:systems according to customer requirements. In: Proceedings of CIGRE Session, Paris
B۵-۱۰۳

Clemens C, Rothe K (۱۹۹۱) Schutztechnik in Elektroenergiesystemen. VDE Verlag, Berlin .۵

Elmore WA (۱۹۹۴) Protective relaying—theory and applications. Marcel Dekker Inc., New .۶
York

Horowitz SH, Phadke AG (۱۹۸۸) Power system relaying. Research Studies Press, Taunton .۷

Johns AT, Salman SK (۱۹۹۵) Digital protection for power systems. P. Peregrinus Ltd., on .۸
behalf of IEE, London

Lin X, Li Z, Wu K, Weng H (۲۰۰۹) Principles and implementations of hierarchical region .۹
defensive systems of power grid. IEEE Trans Power Deliv ۲۴:۲۰-۳۷

Marks JR (۱۹۹۱) Introduction to Shannon sampling and interpolation theory. Springer, New .۱۰
York

.Phadke AG, Thorp JS (۲۰۰۸) Synchronized phasor measurements and their applications .۱۱
Springer Science & Business Media, LLC, New York

Power engineering guide (۲۰۱۰) ۶th edn. Siemens AG, Erlangen, Germany .۱۲

,Protective relays application guide (۱۹۸۷) ۳rd edn. AREVA T&D Protection and Control .۱۳
UK

Seethalekshmi K, Singh SN, Srivastava SC (۲۰۰۸) Wide area protection and control: present .۱۴
status and key challenges. In: Proceedings of the ۱۵th national power systems conference, IIT

Bombay, pp ۱۶۹-۱۷۵

Ungrad H, Winkler W, Wiszniewski A (۱۹۹۵) Protection techniques in electrical energy .۱۵
systems. Marcel Dekker Inc., New York