



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان: شناسایی و جایابی خطا در سیستم‌های قدرت

استاد راهنما: دکتر ابوالفضل جلیلود

نگارش: غلامرضا ایمانی - اصغر تیموری

اسفند ۹۲

چکیده:

هدف از این پروژه بررسی مهم‌ترین روش‌هایی است که برای محل یابی خطا در خطوط انتقال و

توزیع ارائه شده است. این پروژه شامل سه بخش می‌باشد که در فصل اول به مفهوم خطا و علل و انواع آن

پرداخته می‌شود در فصل دوم مفهوم حفاظت و ادوات حفاظتی که وظیفه تشخیص خطا در شبکه‌های

قدرت بر عهده دارند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل سوم به بررسی مهم‌ترین روش‌های محل یابی به صورت تفصیلی می‌پردازد و انواع روش‌ها را

بیان نموده و آن‌ها را در مواردی باهم مقایسه کرده و برتری‌ها و ضعف‌های روش‌ها را نسبت به هم بررسی

و مقایسه کرده است.

فهرست

مقدمه: ۳

فصل اول «خطا در شبکه و علل و انواع آن» ۱

۱. اغتشاش در سیستم‌های قدرت و آثار آن ۱

۲. تعریف خطا در شبکه و علل و انواع آن ۲

فصل دوم «شناسایی خطا در شبکه‌های قدرت» ۵

۱،۲. اهمیت شناسایی خطا ۵

۲،۲. ساختار عملکرد رله ۶

۲،۳. انواع رله‌ها ۷

۱،۳،۲. رله اضافه جریان ۷

۲،۳،۲. رله دیستانس ۸

۱،۲،۳،۲. رله دیستانس نوع راکتانسی ۸

۲،۲،۳،۲. رله دیستانس نوع امپدانس ۹

۳،۲،۳،۲. رله دیستانس نوع مهو ۹

۴،۲،۳،۲. رله دیستانس با مشخصه چهارضلعی ۱۰

۵،۲،۳،۲. سایر مشخصه‌ها ۱۰

۳،۳،۲. رله دیفرانسیل ۱۱

۱،۳،۳،۲. رله دیفرانسیل جریان زیاد ۱۲

۲،۳،۳،۲. رله دیفرانسیل درصدی ۱۲

۳،۳،۳،۲. رله دیفرانسیل امپدانس زیاد ۱۳

۴،۳،۳،۲. رله دیفرانسیل پایلوت ۱۳

۴،۳،۲. رله ولتاژی ۱۵

۱،۴،۳،۲. رله ولتاژ کم ۱۵

۲،۴،۳،۲. رله ولتاژ زیاد ۱۵

فصل سوم «جایابی خطا در شبکه‌های قدرت» ۱۷

۱. مقدمه ۱۷

۲. انواع روش‌های محل‌یابی خطا ۱۷

۳. روش‌های محل‌یابی خطا در شبکه‌های توزیع ۱۸

۱.۳.۱. محل یابی خطا به کمک سیگنال‌های ولتاژ گذرای فرکانس بالای خطا ۱۸

۱.۳.۱.۱. مقدمه ۱۸

۲.۱.۳. طراحی فاصله‌یاب و اصول آن ۱۹

۳.۱.۳. دستگاه آشکارساز خطا ۲۱

۲.۳. محل یابی خطا بر روی فیدرهای توزیع هوایی براساس روش امواج سیار ۲۲

۱.۲.۳. مقدمه ۲۲

۲.۲.۳. ساختار اصلی محل یاب ۲۲

۳.۲.۳. اساس عملکرد محل یاب ۲۴

۳.۳. استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در تعیین محل دقیق خطا در شبکه های توزیع شعاعی هوایی ۲۶

۱.۳.۳. مقدمه ۲۶

۲.۳.۳. آشنایی با شبکه عصبی مصنوعی ۲۷

۳.۳.۳. طراحی خطا یاب شبکه توزیع شعاعی بر مبنای شبکه های عصبی مصنوعی ۲۸

۴.۳.۳. جمع آوری اطلاعات و شبیه سازی سیستم : ۲۹

۵.۳.۳. ساختار شبکه عصبی ۲۹

۱.۵.۳.۳. نوع شبکه عصبی ۳۰

۲.۵.۳.۳. تعیین ورودی ها و خروجی ها ۳۱

۳.۵.۳.۳. میزان الگو های ورودی ۳۱

۶.۳.۳. آموزش شبکه عصبی ۳۲

۷.۳.۳. تست شبکه عصبی ۳۳

۱.۷.۳.۳. تست شبکه با داده های ناشناخته ۳۳

۲.۷.۳.۳. تست شبکه با مقاومت خطا ۳۴

۳.۷.۳.۳. بررسی و مقایسه نتایج ۳۴

۴.۳. تشخیص خطای امپدانس بالا در شبکه توزیع توسط الگوریتم فازی خوشه سازی ۳۵

۱.۴.۳. مقدمه ۳۵

۲.۴.۳. الگوریتم فازی خوشه سازی ۳۸

۳.۴.۳. پیش پردازش داده ها ۳۹

۴.۴.۳. شبیه سازی فیدر توزیع ۴۰

۱.۴.۴.۳. ماهیت جرعه خطای امپدانس بالا ۴۰

۲.۴.۴.۳. مدل کردن خطای امپدانس بالادر شبیه سازی ۴۱

۵،۴،۳. انتخاب شاخص های مناسب برای آموزش سیستم فازی ۴۳

۶،۴،۳. نتیجه گیری ۴۶

۴. روش های محل یابی خطا در شبکه های انتقال ۴۷

۱،۴. محل یابی خطا در خطوط ترکیبی (هوائی / کابلی) به کمک شبکه عصبی ۴۷

۱،۱،۴. مقدمه ۴۷

۲،۱،۴. ساختار شبکه عصبی ۴۹

۳،۱،۴. انتخاب ورودی های مناسب برای اعمال به شبکه عصبی ۵۰

۴،۱،۴. شبیه سازی سیستم قدرت مورد مطالعه ۵۱

۵،۱،۴. شمای کلی روش پیشنهادی ۵۱

۶،۱،۴. ورودی های شبکه عصبی ۵۲

۱،۶،۱،۴. اتصال کوتاه تکفاز ۵۳

۲،۶،۱،۴. اتصال کوتاه سه فاز متقارن ۵۳

۷،۱،۴. تعلیم و تست شبکه های عصبی ۵۴

۱،۷،۱،۴. اتصال کوتاه تک فاز ۵۴

۲،۷،۱،۴. اتصال کوتاه سه فاز متقارن ۵۹

۸،۱،۴. نتیجه گیری ۶۳

۲،۴. فاصله یابی خطا در خطوط انتقال با استفاده از سیگنال های گذرای سیستم ۶۴

۱،۲،۴. چکیده ۶۴

۲،۲،۴. مقدمه ۶۴

۳،۲،۴. تشریح روش پیشنهادی ۶۷

۴،۲،۴. نتیجه گیری ۷۳

۳،۴. تعیین محل خطا با استفاده از اختلاف زمانی بین دو پیک متوالی به کمک موجک ها ۷۳

۱،۳،۴. چکیده ۷۳

۲،۳،۴. مقدمه ۷۴

۳،۳،۴. تئوری روش ۷۶

۴،۳،۴. ارائه الگوریتم فاصله یابی خطا با استفاده از فاصله زمانی دو پیک متوالی اولیه به کمک موجک ها : ۸۱

۵،۳،۴. نتیجه گیری ۸۴

مراجع:..... ۸۶

مقدمه:

مصرف کنندگان نهایی انرژی الکتریکی همواره خواستار دریافت مداوم برق با کیفیت مناسب هستند.

بنابراین در بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع دو اصل اساسی ذیل مطرح می‌گردد:

الف) تداوم ارائه سرویس به مصرف کنندگان: فعالیت اصلی مراکز حوادث شرکت‌های توزیع در

تداوم توزیع انرژی الکتریکی به شبکه فشار ضعیف می‌باشد. ارائه سرویس به مصرف کنندگان برق به دلایل

مختلف ممکن است با اختلال مواجه گردد. غیر از مواردی مانند اعمال خاموشی‌های ناشی از کمبود

انرژی برق، اغلب موارد مربوط به شبکه توزیع است. مهم‌ترین عوامل عدم تداوم کار عادی شبکه توزیع

عبارت‌اند از:

۱. حوادث غیرمترقبه مانند صدمه دیدن کابل‌ها، شکستگی تیرها، آسیب دیدگی تجهیزات

ناشی از برخورد وسایل نقلیه، شرایط جوی و...

۲. عدم توانایی در تأمین بار مصرف کنندگان به دلیل اضافه بار خطوط با ترانسفورماتورها و...

۳. تعمیر یا سرویس تجهیزات

ب) حفظ کیفیت مناسب سرویس: ارائه سرویس مداوم به مصرف کنندگان کافی نمی‌باشد بلکه

کیفیت این سرویس نیز بسیار با اهمیت است. این کیفیت از دو جنبه برای بهره‌بردار (شرکت توزیع) و

مصرف کننده حائز اهمیت است:

۱. کاهش تلفات شبکه توزیع تا حد ممکن (از دید بهره‌بردار)

۲. تأمین ولتاژ مناسب در پست‌های ۰/۴ کیلو وات (از دید مصرف کننده)

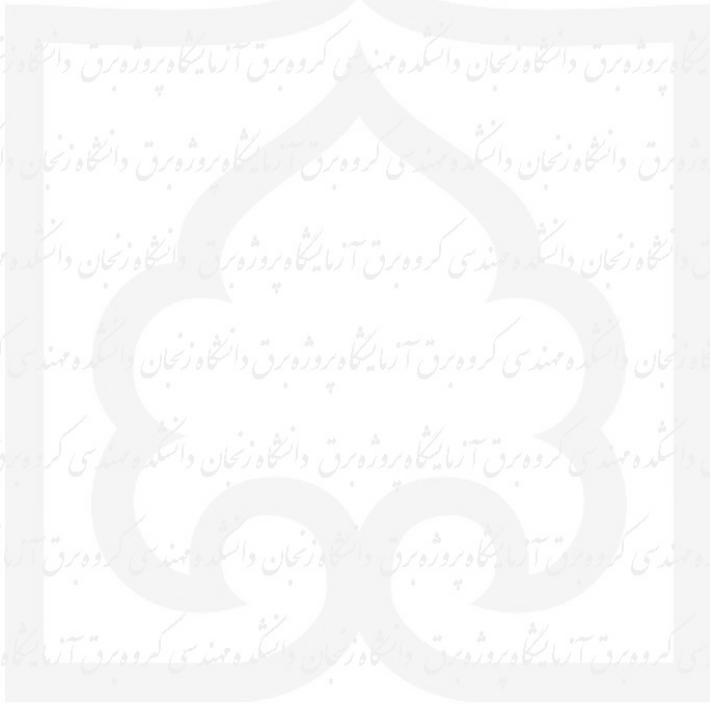
هدف اساسی دیسپاچینگ توزیع، تداوم سرویس و ارتقای کیفیت سرویس می‌باشد. با توجه به

مطالب فوق سعی شده است روش‌های فعلی مراکز حوادث به منظور دستیابی به هدف مذکور مورد بررسی

قرار گیرند و در عین حال نقش سیستم دیسپاچینگ توزیع برای کمک به تعیین تداوم و کیفیت سرویس
تیین گردد.

همان گونه که ذکر شد در شبکه توزیع کشور تجهیزات قابل قطع و وصل از راه دور نصب نشده اند و
لذا انجام هر گونه مانور باید در محل انجام گیرد. علاوه بر آن یافتن نقطه خطا نیز عموماً به صورت تجربی و
سلیقه‌ای می‌باشند. لذا ارائه و بررسی الگوریتمی که بتواند نقطه‌ی خطا یا محدوده محل خطا را نشان

دهد کمک زیادی که به بهره برداران شبکه می‌نماید. علاوه بر آن از لحاظ تسریع در بازیابی و تعمیر نیز
روش‌های محل یاب خطا در سیستم‌های توزیع حائز اهمیت است.



فصل اول

«خطا در شبکه و علل و انواع آن»

۱. اغتشاش در سیستم‌های قدرت و آثار آن

هر تغییری که در شبکه برنامه‌ریزی نشده باشد یک اغتشاش نامیده می‌شود. اغتشاش توسط یک

خطای سیستم یا یک خطای غیر سیستم و یا یک خطای شبکه می‌تواند به وجود آید. خطای شبکه

شامل انواع اتصال کوتاه (سه فاز - تک فاز و ...) پارگی خط و مسائلی از این قبیل است. اما اگر به عنوان

مثال کلید قطع کند در حالتی که هیچ خطایی در شبکه‌ها وجود نداشته باشد، اغتشاش بر اساس خطای

غیر سیستمی یعنی خطا در سیستم حفاظت حاصل شده است. اما اگر یک اضافه‌بار یا نوسان و یا افت

ولتاژ یا فرکانس در شبکه وجود نداشته باشد، اغتشاش بر اثر خطای غیر سیستمی یعنی خطا در سیستم

حفاظت حاصل شده است. اگر یک اضافه بار یا نوسان و یا افت ولتاژ یا فرکانس در شبکه به وجود آید

آنگاه یک خطای شبکه اتفاق افتاده است. اغتشاشات شدید بر روی توانایی سیستم برای تغذیه

مصرف‌کنندگان با ولتاژ و فرکانس مطلوب تأثیر بیشتری می‌گذارد بنابراین رابطه بین خطا در سیستم

قدرت و اغتشاشات شبکه رابطه مستقیمی وجود دارد. در شرایط اغتشاش سیستم قدرت به‌طور معمول

قادر به انجام کار خود یعنی تغذیه انرژی با کیفیت مطلوب به مصرف‌کننده‌ها نیست. در برخی از شرایط

سیستم قدرت می‌تواند کار خود را انجام دهد، ولی در اثر مقادیر غیرعادی کمیت‌های الکتریکی تجهیزات

به نوعی تحت فشار قرار گیرند که پیامد آن وقوع خطای پی‌درپی است؛ بنابراین در این شرایط اگر

روش‌های پیشگیری از جمله جدا کردن بخش معیوب از بقیه سیستم به کار گرفته نشود سیستم تحت

فشار شدیدتری قرار گرفته، فروپاشی و خاموشی از عواقب آن خواهد بود. عوامل متعددی می‌تواند در ایجاد

یک اغتشاش یا گسترش آن دخیل باشد که آن‌ها را به دو دسته کلی عوامل غیر سیستمی (آب‌وهوا،

عوامل محیطی، خطای انسانی و ...) و عوامل سیستمی (نوسان توان و فرکانس، بهره‌برداری در نقاط بحرانی کار شبکه، بدی عملکرد تجهیزات ثانویه رله‌ها و تجهیزات مخابراتی و...) تقسیم می‌شود.

۲. تعریف خطا در شبکه و علل و انواع آن

بررسی اختلالات بزرگ و ناگهانی، تحت عنوان خطاها، در سیستم قدرت اهمیت ویژه‌ای دارد انواع اتصال کوتاه‌ها و باز شدن یا پاره شدن خطوط انتقال از مهم‌ترین خطاها در سیستم‌های قدرت محسوب می‌شوند.

علل پیدایش خطا عبارت‌اند از:

۱. صاعقه

۲. سالم نبودن تجهیزات و لوازم سیستم

۳. شرایط جوی مانند باد، یخبندان شدید و...

۴. برخورد وسایل نقلیه زمینی با دکل‌ها و برخورد وسایل نقلیه هوایی با هادی‌های خطوط

انتقال

۵. برخورد پرندگان با هادی‌های خطوط انتقال و یا ورود حیوانات به پست‌ها و کلیدخانه‌ها

۶. سقوط درختان بر روی هادی‌های خطوط انتقال

۷. عوامل تصادفی و اتفاقات قابل پیش‌بینی

خطاهایی که بر اثر عوامل فوق‌الذکر در سیستم‌های قدرت پدید می‌آیند، به ترتیب میزان شدت به برق آزمایشگاه پروژه

صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) اتصال کوتاه متقارن (سه فاز): این اتصال کوتاه بر اثر اتصال و یا برخورد سه فاز به یکدیگر

به وجود می‌آید. اتصال سه فاز ممکن است مستقیماً و با امیدانی صفر صورت گیرد و یا از طریق سه

امپدانس مساوی Z بین هر فاز و نقطه صفر (زمین) به وقوع بپیوندد.

ب) اتصال کوتاه دو فاز: در این صورت باید دو حالت مورد بررسی قرار داد، در حالت اول دو فاز

فقط بر یکدیگر وصل می‌شوند و در حالت دوم دو فاز همزمان به زمین نیز متصل می‌گردند.

ج) اتصال کوتاه یک فاز به زمین.

د) از هم گسیختگی و یا پاره شدن خطوط انتقال.

اغلب اتصال کوتاه‌ها در سیستم‌های قدرت (بیش از ۷۵٪) از نوع اتصال کوتاه یک فاز به زمین

می‌باشند که معمولاً بر اثر شکست الکتریکی و ایجاد جرقه روی مقره‌ها پدید می‌آیند. احتمال وقوع

اتصال دو فاز نیز بیشتر از اتصال کوتاه متقارن است. گرچه احتمال وقوع اتصال متقارن بسیار کم (حدود

۰.۵٪ درصد) است، لیکن بسیاری از محاسبات کلاسیک سیستم‌ها نظیر انتخاب کلیدهای قدرت، بررسی

پایداری گذرا و... بر مبنای جریان‌های اتصال کوتاه متقارن بنا شده‌اند.

ظرفیت انتقال قدرت یک خط انتقال بر اثر اتصال کوتاه متقارن به صفر می‌رسد، درحالی‌که در

اتصال کوتاه‌های نامتقارن (ب و ج فوق‌الذکر) قسمتی از قدرت قبلی خط منتقل می‌گردد. علاوه بر کاهش

ظرفیت انتقال قدرت، جریان‌های زیاد اتصال کوتاه می‌توانند به وسایل و تجهیزات آسیب برسانند و لذا

محل‌های اتصال کوتاه شده در اسرع وقت باید از سیستم قدرت جدا شوند؛ بنابراین مطالعه سیستم قدرت

در شرایط اتصال کوتاه برای حفاظت سیستم و تغییر مقادیر نامی کلیدهای قدرت و رله‌ها کاملاً ضروری

است.

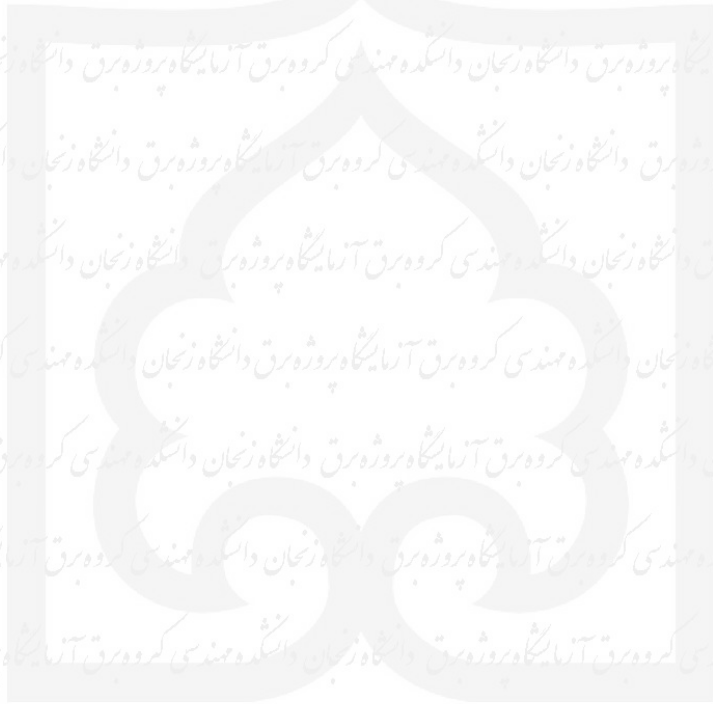
بسیاری از اتصال کوتاه‌ها موقتی بوده و به خودی خود برطرف می‌شود، به همین منظور در عمل در

بعضی نقاط سیستم از کلیدهای وصل مجدد استفاده می‌شود، این کلیدها پس از وقوع اتصال کوتاه یک یا

دو بار یا بیشتر وصل می‌شوند تا از برطرف شدن اتصال کوتاه مطمئن شوند. اگر پس از یک، دو و یا چند بار وصل مجدد هنوز اتصال کوتاه برقرار باشد، کلید به طور دائمی باز خواهد ماند. زمان کل عمل این

کلیدها ممکن است تا یک ثانیه هم به طول انجامد.

پایان نامه کارشناسی



فصل دوم

«شناسایی خطا در شبکه‌های قدرت»

۱,۲. اهمیت شناسایی خطا

در یک شبکه قدرت هدف تولید و انتقال انرژی الکتریکی و تحویل به مصرف‌کننده‌ها است. شبکه قدرت باید به گونه‌ای طراحی شود که با مدیریت مناسب در بهره‌برداری از آن بتوان عملیات مربوط به

تولید و انتقال انرژی را به صورت بهینه یعنی با کمترین هزینه اقتصادی و با قابلیت اطمینان بالا انجام

داد.

نکته‌ای که از دید مصرف‌کننده بسیار اهمیت دارد این است که تولید و انتقال انرژی الکتریکی به صورت دائمی و بدون وقفه باشد. از طرفی شبکه قدرت که شامل ژنراتور، ترانسفورماتورهای قدرت و

خطوط انتقال و سایر تجهیزات می‌باشد در معرض وقوع خطا است که این خطاها در کارکرد عادی شبکه

قدرت اختلال ایجاد می‌نماید. این خطاها به عمده شامل اتصال کوتاه‌های بین فاز و زمین و نیز پارگی

خطوط انتقال یا کاهش قدرت عایقی مقرر ه و ... می‌باشد. در چنین شرایطی یک سیستم نظارت و

کنترل مورد نیاز خواهد بود تا هر بخش از شبکه را که در آن خطا رخ داده است تشخیص داده و در

سریعترین زمان ممکن از سایر بخش‌های سالم شبکه جدا نماید زیرا هنگامی که خطا از شبکه رفع نشده

باشد کل شبکه به خاطر تأثیرات ناشی از وقوع خطا در معرض خطر است. چنین سیستم نظارت و

کنترل‌کننده‌ای در واقع یک سیستم حفاظت محسوب می‌شود. در یک سیستم حفاظتی مجموعه‌ای از

رله‌ها و کلیدهای قدرت کار می‌کنند.

دانشجویان محترم:

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

قسمت اعظم مطالعه بر روی تعیین زمان پیک اول و دوم سیگنال مؤلفه جزئی مقیاس اول مد ۲ می باشد. هر چه تعیین زمان پیک اول و دوم دقیق تر باشد دقت روش بالاتر خواهد بود. انتخاب مقیاس اول مؤلفه مدال ۲ به این دلیل می باشد که اطلاعات فرکانس بالا و رزولوشن زمانی زیاد در این مقیاس نهفته است. زمان پیک اول در حقیقت $t \Delta 3$ پس از رخ دادن خطا می باشد، هرچه مقیاس پایین تر باشد موجک آن فشرده تر خواهد بود و بنابراین تقریب استفاده از مقدار ماکزیمم برای لحظه رخ داد خطا در مقیاس های پایین تر کمتر می باشد.

۴،۳،۵. نتیجه گیری

از مطالعات انجام شده بر روی روش می توان نتیجه گرفت که این روش برای نقاط نزدیک دارای دقت مناسبی است اما ممکن است برای نقاطی با فاصله دور از سر فیدر دور دقت خوبی نداشته باشد. اگر چه این روش برای فاصله یابی خطا در شبکه توزیع برخلاف شبکه انتقال نیازی به مطالعه مؤلفه مد زمین ندارد. اما بدلیل اینکه انشعابات زیادی در شبکه وجود دارد گاهی موج منعکس شده از باس اندازه گیری پس از منعکس شدن از نقطه خطا در مسیرهای مختلف میرا می گردد و بدلیل دامنه

کوچکش به سختی در بین موج های برگشتی از سایر باسها قابل شناسایی است. با وجود یک کاربر بان دانش تجربه که به مفهوم امواج سیار و موجکها آشنا باشد، تشخیص موج منعکس شده موج اول از محل خطا کاری ممکن می باشد. گاهی ممکن است یک کاربر با چندین موجک مادر سیگنال را تحلیل کند تا به پاسخ قطعی تری برسد، یا با مشخص بودن محدوده خطا می توان سگنال برگشتی از محل خطا را در بین موجک ها تشخیص دهد، برای شبکه هایی که در آنها انشعابات زیادی وجود نداشته باشد و یا خطوط طولانی باشند، این روش نسبت به روش های امپدانس بسیار مناسب می باشد. درضمن به دلیل اینکه

این روش به هیچ اطلاعات خاصی مانند نوع خطا، زمان خطا، مقاومت خطا، زاویه آغاز خطا و از همه مهمتر اطلاعات بار که معمولاً به سختی در شبکه توزیع در دسترس می باشد نیازی ندارد، نسبت به روش های امپدانس از این لحاظ ارجح می باشد. در ضمن با روند خوبی که در ساخت و فراگیر شدن تجهیزات

الکترونیک نوری طی می شود در آینده امکان اینکه بتوان OCT و OPT هایی با نرخ نمنه برداری بسیار بالا در شبکه نصب کرد وجود خواهد داشت. به این ترتیب دقت روش افزایش می یابد. در این پروژه نشان داده شده است که می توان سرعت سیر موج در مد ۲ را بدست آورد و از آن در محاسبه محل خطا بهره

جست از این لحاظ نسبت به روش ارجح می باشد و همچنین مشخص شده است که روش به سرعت

سیر موج در مد ۲ بسیار حساس نیست و سرعت سیر موج در مد ۲ را می توان به تقریب خوبی در

فرکانس های بالا ثابت فرض کرد برخلاف سرعت سیر موج در مد ۱ که تغییرات شدیدتری دارد به همین

دلیل استفاده از مد ۲ به منظور محاسبه فاصله خطا در همه ی انواع خطا بهتر می باشد.



مراجع:

- بیگ زاده یحیی، شایقی حسین، اکبری عادل، "استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در تعیین

محل دقیق خطا در شبکه های توزیع شعاعی هوایی"، نهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق،

زنجان، بهار ۱۳۸۳

- حاجتی پور مجید، فرخی محمد، "تشخیص خطای امپدانس بالا در شبکه توزیع توسط الگوریتم

فازی خوشه سازی"، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۸۳

- پرگار بابک، وکیلان مهدی، شهرتاش سید محمد، "فاصله یابی خطا در خطوط انتقال با استفاده

از سیگنالهای گذرای خطا"، پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران

- مسلمی نیکی، جلالی داود، عسگری جواد، "تعیین محل خطا با استفاده از اختلاف زمانی بین دو

پیک متوالی به کمک موجک ها"، هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، تهران، بهار ۱۳۸۲

- هاشمی دهکردی سید روزه، "تعیین محل دقیق انواع خطای خطوط توزیع برق با استفاده از

کرمان، اردیبهشت ۱۳۸۸

- ساده جواد، افرادی حمید، "فاصله یابی خطا در خطوط ترکیبی (هوایی / کابلی) به کمک شبکه

عصبی"، بیست و دومین کنفرانس بین المللی برق، ۲۰۰۷

- جمالی صادق، هنرمند محمد اسماعیل، "محل یابی خطا در شبکه های توزیع"، دانشگاه علم و

صنعت ایران، تهران

- قلعه ای منفرد محسن، آذری مهدی: مکان یابی خطا در خطوط موازی جبران شده سری، دانشگاه

زنجان، دانشکده فنی و مهندسی، شهریور ۱۳۸۹