بسمه‌تعالی

دانشکده مهندسی

گروه برق

رساله دکتری برق-قدرت

مکان یابی خطا در خطوط انتقال جبران شده با کنترل کننده عبور توان یکپارچه

Fault location algorithms for transmission lines compensated by unified power flow controller

مهدی قاضی زاده احسائی

استاد راهنما: دکتر جواد ساده

زمستان ۱۳۹۰

بسمه تعالی

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی دانشجویان

دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان رساله/پایان نامه: مکان یابی خطا در خطوط انتقال جبران شده با کنترل کننده عبور توان یکپارچه

نام نویسنده: مهدی قاضی زاده احسائی

نام استاد(ان) راهنما: دکتر جواد ساده

نام استاد(ان) مشاور:

دانشکده : فنی و مهندسی	**گروه: برق**	**رشته تحصیلی: قدرت**
تاریخ تصویب:		**تاریخ دفاع: ۹۰/۱۱/۱۴**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد ○	**دکتری ●**	**تعداد صفحات: ۱۵۲**

چکیده رساله/پایان نامه :

در این رساله الگوریتم‌های مکان‌یابی خطا در خطوط انتقال جبران‌شده با **UPFC** ارائه شده است. این روش‌ها با توجه به میزان اطلاعات موجود از باس‌های طرفین **UPFC** و با در نظر گرفتن مود عملکرد آن به ۳ دسته و ۵ حالت تقسیم بندی شده است. در دسته اول (حالت-های اول و دوم) فرض شده اطلاعات کامل باس‌های طرفین جبران‌ساز در اختیار مکان‌یاب خطا بوده و در حالت‌های سوم و چهارم (دسته دوم) به ترتیب تنها اطلاعات اختلاف جریان و اختلاف ولتاژ باس‌های طرفین **UPFC** برای مکان‌یاب خطا ارسال شده است. روش‌های ارائه شده در حالت‌های سوم و چهارم به ترتیب برای هر خط انتقال جبران‌شده با **UPFC** در مود جبران‌سازی سری و مود جبران‌سازی موازی، و یا هر خط جبران شده با هر یک از ادوات سری و موازی قابل بکارگیری است، بدون اینکه نیاز به ارسال اطلاعاتی از جبران‌ساز برای مکان‌یاب خطا باشد. در حالت پنجم نیز فرض بر این است که هیچ اطلاعاتی از جبران‌ساز در اختیار مکان‌یاب خطا نمی‌باشد. حین خطا، اندازه و فاز ولتاژ و جریان تزریقی توسط جبران‌ساز تغییر کرده و پارامترهای آن ثابت نمی‌ماند. خصوصیت مشترک الگوریتم‌های پیشنهادی در این رساله، عدم استفاده از مدل جبران‌ساز است، که این موضوع مشکلات ناشی از مدل‌سازی و انتخاب مدل مناسب برای آن را برطرف می‌سازد. یکی از مشکلات روش‌های فاصله‌یابی خطا که از محاسبات تکراری استفاده می نمایند، انتخاب شرایط اولیه برای شروع انجام تکرار می‌باشد که ممکن است باعث خطای محاسبات مکان‌یابی و یا حتی واگرایی محاسبات گردد. بنابراین در الگوریتم‌های پیشنهادی در این رساله از روش‌های غیرتکراری استفاده شده است. همچنین در برخی از روش‌های پیشنهادی در این رساله نیازی به استفاده از انتخابگر برای تعیین سمت صحیح خطا نسبت به جبران‌ساز وجود ندارند که این موضوع یکی از مزایای این روش‌ها می‌باشد. زیرا خطای انتخابگر در تعیین سمت صحیح خطا باعث عدم عملکرد صحیح مکان‌یاب خطا می‌شود. در روش‌های ارائه شده از مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان استفاده شده که از دقیق‌ترین مدل‌های خط می‌باشد و این موضوع دقت بالای روش‌های پیشنهادی را در بر داشته است. دقت روش‌های پیشنهادی توسط خط انتقال جبران شده با **UPFC** که در نرم‌افزار **MATLAB/Simulink** شبیه‌سازی شده ارزیابی شده که نتایج حاصل، دقت بالا و قابل قبول این الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد.

کلید واژه:

۱. مکان‌یابی خطا

۲. کنترل کننده عبور توان یکپارچه

۳. مدل گسترده خط انتقال

۴. حوزه زمان

۵. محاسبات تکراری

امضای استاد راهنما:

تاریخ:

تشکر و قدر دانی

حال که در سایه الطاف حضرت حق، این رساله به اتمام رسیده است، لازم است از زحمات تمام کسانی که مرا در این کار یاری رسانیده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر ساده، به خاطر راهنمایی‌های ارزشمند و همکاری و همراهی ایشان کمال سپاسگذاری را دارم.

از اساتید گرانمایه جناب آقای دکتر قاضی و دکتر جاویدی که زحمت نقد این اثر را به عهده داشته‌اند متشکرم.

چکیده:

در این رساله الگوریتم‌های مکان‌یابی خطا در خطوط انتقال جبران‌شده با UPFC ارائه شده است. این روش‌ها با توجه به میزان اطلاعات موجود از باس‌های طرفین UPFC و با در نظر گرفتن مود عملکرد آن به ۳ دسته و ۵ حالت تقسیم بندی شده است. در دسته اول (حالت‌های اول و دوم) فرض شده اطلاعات کامل باس‌های طرفین جبران‌ساز در اختیار مکان‌یاب خطا بوده و در حالت-های سوم و چهارم (دسته دوم) به ترتیب تنها اطلاعات اختلاف جریان و اختلاف ولتاژ باس‌های طرفین UPFC برای مکان‌یاب خطا ارسال شده است. روش‌های ارائه شده در حالت‌های سوم و چهارم به ترتیب برای هر خط انتقال جبران‌شده با UPFC در مود جبران‌سازی سری و مود جبران-سازی موازی، و یا هر خط جبران شده با هر یک از ادوات سری و موازی قابل بکارگیری است، بدون اینکه نیاز به ارسال اطلاعاتی از جبران‌ساز برای مکان‌یاب خطا باشد. در حالت پنجم نیز فرض بر این است که هیچ اطلاعاتی از جبران‌ساز در اختیار مکان‌یاب خطا نمی‌باشد. حین خطا، اندازه و فاز ولتاژ و جریان تزریقی توسط جبران‌ساز تغییر کرده و پارامترهای آن ثابت نمی‌ماند. خصوصیت مشترک الگوریتم‌های پیشنهادی در این رساله، عدم استفاده از مدل جبران‌ساز است، که این موضوع مشکلات ناشی از مدل‌سازی و انتخاب مدل مناسب برای آن را برطرف می‌سازد. یکی از مشکلات روش‌های فاصله‌یابی خطا که از محاسبات تکراری استفاده می نمایند، انتخاب شرایط اولیه برای شروع انجام تکرار می‌باشد که ممکن است باعث خطای محاسبات مکان‌یابی و یا حتی واگرایی محاسبات گردد. بنابراین در الگوریتم‌های پیشنهادی در این رساله از روش‌های غیرتکراری استفاده شده است. همچنین در برخی از روش‌های پیشنهادی در این رساله نیازی به استفاده از انتخابگر برای تعیین سمت صحیح خطا نسبت به جبران‌ساز وجود ندارند که این موضوع یکی از مزایای این روش‌ها می‌باشد. زیرا خطای انتخابگر در تعیین سمت صحیح خطا باعث عدم عملکرد صحیح مکان‌یاب خطا می‌شود. در روش‌های ارائه شده از مدل گسترده خط انتقال در حوزه زمان استفاده شده که از دقیق‌ترین مدل‌های خط می‌باشد و این موضوع دقت بالای روش‌های پیشنهادی را در بر داشته است. دقت روش‌های پیشنهادی توسط خط انتقال جبران شده با UPFC که در نرم-افزار MATLAB/Simulink شبیه‌سازی شده ارزیابی شده که نتایج حاصل، دقت بالا و قابل قبول این الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱: پیشگفتار

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- موضوع تحقیق رساله ۳

۱-۳- مروری بر مطالب فصل‌های بعد ٤

فصل۲: مروری بر تحقیقات انجام شده و طرح مساله مکان‌یابی خطا در خطوط جبران‌شده با UPFC

۲-۱- مقدمه ۵

۲-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده ۵

۲-۲-۱- مکان‌یابی خطا در خطوط جبران‌شده ٦

۲-۲-۲-تاثیر ادوات FACTS بر عملکرد رله دیستانس ۱۱

۲-۳- طرح مساله ۱٦

فصل۳: روش‌های مکان‌یابی خطا با بکارگیری اطلاعات ولتاژ و جریان پایانه‌های UPFC (دسته اول)

۳-۱- مقدمه ۱۹

۳-۲- معرفی روش دو پایانه‌ای برای مکان‌یابی خطا ۱۹

۳-۳- روش مکان‌یابی خطای پیشنهادی با ارسال اطلاعات باس‌های UPFC به طرفین خط (حالت اول) ۲۱

۳-۳-۱- تشخیص سمت صحیح خطا نسبت به وسیله جبران‌ساز ۲۲

۳-۳-۲- مکان‌یابی خطا در حالت اول ۲۳

۳-٤- روش مکان‌یابی خطا با ارسال اطلاعات اختلاف ولتاژ و جریان

عنوان	صفحه

باس‌های UPFC برای مکان‌یاب خطا (حالت دوم) ۲٤

۳-٤-۱- مکان‌یابی خطا در حالت دوم ۲۵

۳-۵- ارزیابی عملکرد روش‌های پیشنهادی مکان‌یابی خطا در دسته اول ۲۸

۳-۵-۱- معرفی سیستم مورد مطالعه ۲۸

۳-۵-۲- ارزیابی روش ارائه شده در حالت اول ۳۲

۳-۵-۲-۱- تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر دقت روش ارائه شده در حالت اول ٤۱

۳-۵-۳- ارزیابی روش ارائه شده در حالت دوم ٤٦

۳-۵-۳-۱- تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر دقت روش ارائه شده در حالت دوم ۵۱

فصل۴: روش‌های پیشنهادی به منظور مکان‌یابی خطا با بکارگیری بخشی از اطلاعات پایانه‌های UPFC (دسته دوم)

٤-۱- مقدمه ۵۵

٤-۲- روش پیشنهادی به منظور مکان‌یابی خطا با فرض در دسترس بودن اختلاف جریان باس‌های طرفین UPFC برای مکان‌یاب خطا (حالت سوم) ۵۵

٤-۲-۱- اصول روش مکان‌یابی خطا در حالت سوم ۵٦

٤-۲-۲- روش پیشنهادی در حالت سوم برای خطوط جبران‌شده با UPFC ۵۷

٤-۲-۳- روش پیشنهادی در حالت سوم برای خطاهای نامتقارن ٦۰

٤-۳- روش پیشنهادی به منظور مکان‌یابی خطا با فرض در دسترس بودن اختلاف ولتاژ باس‌های طرفین UPFC برای مکان‌یاب خطا (حالت چهارم) ٦۲

٤-۳-۱- اصول روش پیشنهادی در حالت چهارم ٦۲

٤-۳-۲- روش ارائه شده در حالت چهارم برای خطوط شامل UPFC ٦٤

٤-۳-۳- روش پیشنهادی در حالت چهارم برای خطاهای نامتقارن ٦٦

٤-٤- ارزیابی روش پیشنهادی در حالت سوم ٦۷

٤-٤-۱- تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر دقت روش ارائه شده در حالت سوم ۷۳

عنوان	صفحه

٤-٥- ارزیابی روش ارائه شده در حالت چهارم ٧٨

٤-٥-١- تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر دقت روش ارائه شده در حالت چهارم ٨٣

فصل۵: روش‌های مکان‌یابی خطا در خطوط جبران‌شده با UPFC در مود جبران-سازی سری و موازی

۵-۱- مقدمه ۸۵

۵-۲- روش پیشنهادی برای خطوط شامل UPFC در مود جبران‌سازی سری (یا هر یک از ادوات جبران‌ساز سری) ۸۵

۵-۲-۱- ارزیابی روش ارائه‌شده برای خطوط جبران‌شده با ادوات سری ۸۹

۵-۲-۱-۱- مکان خطا نزدیک به پایانه‌ها ۹۰

۵-۲-۱-۲- زوایای شروع خطای مختلف ۹۱

۵-۲-۱-۳- مکان‌های مختلف نصب TCSC ۹۲

۵-۲-۱-٤- ارزیابی آماری ۹۲

۵-۲-۱-۵- تأثیر خطاهای اندازه‌گیری ۹۳

۵-۳- روش پیشنهادی برای خطوط شامل UPFC در مود جبران‌سازی موازی (یا شامل هر یک از ادوات جبران‌ساز موازی) ۹٤

۵-۳-۱- ارزیابی روش پیشنهادی برای خطوط جبران‌شده با ادوات موازی ۹۷

۵-۳-۱-۱- بررسی تاثیرپذیری دقت روش پیشنهادی از مقاومت خطا و زاویه شروع خطا ۹۷

۵-۳-۱-۲- حساسیت به خطاهای اندازه‌گیری ۹۹

فصل۶: روش مکان‌یابی خطا بدون وجود اطلاعات از UPFC (دسته سوم)

٦-١- مقدمه ١٠١

عنوان	صفحه
٦-٢- روش پیشنهادی مکان‌یابی خطا بدون نیاز به اطلاعات UPFC (حالت پنجم)	١٠١
٦-٢-١- اصول روش پیشنهادی با فرض رخداد خطای تک‌فاز به زمین	١٠٣
٦-٢-٢- روش پیشنهادی به منظور مکان‌یابی خطا در حالت پنجم برای خط انتقال شامل UPFC	١٠٥
٦-٣- ارزیابی روش ارائه شده در حالت پنجم	١٠٨
٦-٣-١- تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر دقت روش پیشنهادی در حالت پنجم	١١٣
فصل٧: نتیجه گیری و پیشنهادات	
٧-١- جمع‌بندی	١١٧
٧-٢- نتیجه گیری	١١٨
٧-٣- پیشنهادات جهت کارهای آینده	١٢٠
پیوست	١٢٢
مراجع	١٢٩

فهرست شکل‌ها

شکل	صفحه
شکل (۲-۱): خط انتقال جبران‌شده با UPFC، وقوع خطا در سمت چپ جبران‌ساز	۱۶
شکل (۳-۱): مدل تک‌فاز از بخش SE خط انتقال سه‌فاز با مدل گسترده	۱۹
شکل (۳-۲): خط انتقال جبران‌شده با UPFC، وقوع خطا در سمت راست جبران‌ساز	۲۵
شکل (۳-۳): آرایش اتصالات اینورتر موازی ٤٨ پالسه	۲۹
شکل (۳-٤): سیستم کنترل مربوط به STATCOM	۳۱
شکل (۳-۵): سیستم کنترل مربوط به SSSC	۳۱
شکل (۳-٦): ولتاژ (شکل بالا) و جریان (شکل پایین) فازهای باس S به ازای خطای تک‌فاز در ٦۹km با مقاومت خطای ۱۳ اهم و زاویه شروع خطای ۷٤ درجه	۳۲
شکل (۳-۷): توان اکتیو عبوری از باس B، قبل و حین خطا	۳۳
شکل (۳-۸): توان راکتیو عبوری از باس B، قبل و حین خطا	۳۳
شکل (۳-۹): مقادیر تابع هدف در (الف) طول خط انتقال (ب) حوالی محل خطا	۳٤
شکل (۳-۱۰): خطای تک‌فاز با زاویه شروع خطای صفر درجه، P_{ref}=650MW و Q_{ref}=100MVAr (حالت اول)	۳۷
شکل (۳-۱۱): خطای دوفاز با زاویه شروع خطای صفر درجه، P_{ref}=650MW و Q_{ref}=100MVAr (حالت اول)	۳۷
شکل (۳-۱۲): خطای دوفاز به زمین با زاویه شروع خطای صفر درجه، P_{ref}=650MW و Q_{ref}=100MVAr (حالت اول)	۳۸
شکل (۳-۱۳): خطای سه‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای صفر درجه، P_{ref}=650MW و Q_{ref}=100MVAr (حالت اول)	۳۸
شکل (۳-۱٤): مقاومت متغیر خطا (اهم) بر حسب زمان (ثانیه)	٤۰
شکل (۳-۱۵): مدل شبکه شبیه سازی شده شامل CTها و CVTها	٤۲
شکل (۳-۱٦): ولتاژ ورودی و خروجی CVT بدون احتساب نسبت تبدیل، در ابتدای خط	٤۳
شکل (۳-۱۷): جریان ورودی و خروجی CT بدون احتساب نسبت تبدیل، در ابتدای خط	٤٤

شکل | صفحه

شکل (۳-۱۸): تاثیر خطای موجود در ولتاژ و جریان بر روش اول برای خطای تک‌فاز با زاویه شروع خطای ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٤٤

شکل (۳-۱۹): تاثیر خطای موجود در ولتاژ و جریان بر روش اول برای خطای دوفاز با زاویه شروع خطای ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٤٥

شکل (۳-۲۰): تاثیر خطای موجود در ولتاژ و جریان بر روش اول برای خطای دوفاز به زمین با زاویه شروع خطای ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٤٥

شکل (۳-۲۱): تاثیر خطای موجود در ولتاژ و جریان بر روش اول برای خطای سه‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٤٥

شکل (۳-۲۲): تابع هدف در (الف) سمت چپ جبران‌ساز (ب) سمت راست جبران‌ساز (ج) حوالی مکان رخداد خطا ٤٦

شکل (۳-۲۳): تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر روش دوم برای خطای تک‌فاز با زاویه شروع خطای ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٥٢

شکل (۳-۲٤): تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر روش دوم، خطای دوفاز، زاویه شروع خطا ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٥٣

شکل (۳-۲٥): تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر روش دوم، خطای دوفاز به زمین، زاویه شروع خطا ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٥٣

شکل (۳-۲٦): تاثیر خطاهای اندازه‌گیری بر روش دوم، خطای سه‌فاز به زمین، زاویه شروع خطا ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٥٣

شکل (٤-۱): مقادیر تابع هدف بر حسب فاصله از ابتدای خط به کیلومتر (الف) در طول خط (ب) در حوالی محل رخداد خطا ٦٨

شکل (٤-۲): ولتاژ ورودی و اندازه‌گیری شده با بکارگیری ابزارهای نوری در باس S ٧٧

شکل (٤-۳): جریان ورودی و اندازه‌گیری شده با بکارگیری ابزارهای نوری در باس S ٧٧

شکل (٤-٤): تابع هدف در (الف) طول خط انتقال (ب) حوالی محل رخداد خطا ٧٩

شکل (٥-۱): خط انتقال شامل UPFC در مود جبران‌سازی سری (یا هر یک از

شکل	صفحه
ادوات جبران‌ساز سری)، وقوع خطا در سمت چپ جبران‌ساز	۸۷
شکل (۵-۲): خط انتقال شامل UPFC در مود جبران‌سازی سری (یا هر یک	
از ادوات جبران‌ساز سری)، وقوع خطا در سمت راست جبران‌ساز	۸۸
شکل (۵-۳): مقدار تابع هدف بر حسب فاصله از ابتدای خط انتقال	۹۰
شکل (۵-٤): خط انتقال جبران‌شده با UPFC در مود جبرانسازی موازی	
ادوات موازی، وقوع خطا در سمت چپ جبران‌ساز	۹۵
شکل (٦-۱): خط انتقال جبران‌شده با UPFC، وقوع خطا در سمت چپ جبران‌ساز	۱۰۱
شکل (٦-۲): دیاگرام تک‌خطی بخش SE از خط انتقال با پارامترهای گسترده	۱۰۳
شکل (٦-۳): خط انتقال جبران‌شده با UPFC، وقوع خطا در سمت راست جبران‌ساز	۱۰٦
شکل (٦-٤): مقادیر $P^{B}_{Avg}(t)$ ، $P^{E}_{Avg}(t)$ و $\Delta p(t)$ بر حسب زمان در خطای	
تک‌فاز به زمین در فاصله ۲۲۰ کیلومتری از ابتدای خط	۱۰۹
شکل (٦-۵): مقادیر $P^{B}_{Avg}(t)$ ، $P^{E}_{Avg}(t)$ و $\Delta p(t)$ بر حسب زمان در خطای	
دوفاز به‌هم در فاصله ۲۲۰ کیلومتری از ابتدای خط	۱۰۹
شکل (٦-٦): مقادیر $P^{B}_{Avg}(t)$ ، $P^{E}_{Avg}(t)$ و $\Delta p(t)$ بر حسب زمان در خطای	
دوفاز به زمین در فاصله ۲۲۰ کیلومتری از ابتدای خط	۱۰۹
شکل (٦-۷): مقادیر $P^{B}_{Avg}(t)$ ، $P^{E}_{Avg}(t)$ و $\Delta p(t)$ بر حسب زمان در خطای	
سه‌فاز به زمین در فاصله ۲۲۰ کیلومتری از ابتدای خط	۱۰۹

فهرست جدول‌ها

جدول	صفحه
جدول (۳-۱): خطای تک‌فاز با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت اول)	۳۵
جدول (۳-۲): خطای دوفاز با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت اول)	۳۵
جدول (۳-۳): خطای دوفاز به زمین با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت اول)	۳۶
جدول (۳-٤): خطای سه‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت اول)	۳۶
جدول (۳-۵): تأثیر مقاومت متغیر خطا بر روش ارائه شده در حالت اول، زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=800MW و Q_{ref}=-100MVAr	۳۹
جدول (۳-٦): تاثیر زاویه شروع خطا بر دقت الگوریتم پیشنهادی در حالت اول، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr	٤۰
جدول (۳-۷): تأثیر CT و CVT بر روش اول برای خطاهای مختلف با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=700MW و Q_{ref}=-100MVAr	٤۳
جدول (۳-۸): خطای تک‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت دوم)	٤۷
جدول (۳-۹): خطای دوفاز با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت دوم)	٤۸
جدول (۳-۱۰): خطای دوفاز به زمین با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت دوم)	٤۸
جدول (۳-۱۱): خطای سه‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت دوم)	٤۹
جدول (۳-۱۲): تأثیر مقاومت متغیر خطا بر روش ارائه شده در حالت دوم،	

زاویه شروع خطای صفر درجه، P_{ref}=650MW و Q_{ref}=100MVAr ۵۰

جدول (۳-۱۳): تاثیر زاویه شروع خطا بر دقت الگوریتم پیشنهادی در حالت دوم، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr ۵۰

جدول (۳-۱٤): تأثیر CT و CVT بر روش دوم برای خطاهای مختلف با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=700MW و Q_{ref}=-100MVAr ۵۱

جدول (٤-۱): خطای تک‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت سوم) ٦۸

جدول (٤-۲): خطای دوفاز با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت سوم) ٦۹

جدول (٤-۳): خطای دوفاز به زمین با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت سوم) ٦۹

جدول (٤-٤): خطای سه‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت سوم) ۷۰

جدول (٤-۵): نتایج حاصل در حالت سوم به ازای زوایای شروع خطای مختلف، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr ۷۱

جدول (٤-٦): نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی در حالت سوم برای تنظیمات مختلف UPFC و به ازای مقاومتهای گوناگون خطا (خطای تک‌فاز به زمین و زاویه شروع خطای ۹۰ درجه) ۷۲

جدول (٤-۷): تأثیر پارامترهای کنترلی UPFC، بر روش سوم برای خطاهای مختلف با مقاومت خطای ۱۰ اهم و زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr ۷۳

جدول (٤-۸): تاثیر مود عملکرد کنترل ولتاژ بر روش ارائه شده در حالت سوم ۷٤

جدول (٤-۹): تأثیر CT و CVT بر روش سوم برای خطاهای مختلف با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=700MW و Q_{ref}=-100MVAr ۷۵

جدول | صفحه

جدول (٤-١٠): تاثیر خطای موجود در اندازه‌گیری بر روش سوم برای خطاهای مختلف با زاویه شروع خطای ٤٥ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=-50MVAr ٧٦

جدول (٤-١١): تأثیر ابزارهای اندازه‌گیری نوری بر روش سوم برای خطاهای مختلف با زاویه شروع خطای ٩٠ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr ٧٨

جدول (٤-١٢): خطای تک‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای ٩٠ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت چهارم) ٨٠

جدول (٤-١٣): خطای دوفاز با زاویه شروع خطای ٩٠ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت چهارم) ٨٠

جدول (٤-١٤): خطای دوفاز به زمین با زاویه شروع خطای ٩٠ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت چهارم) ٨١

جدول (٤-١٥): خطای سه‌فاز به زمین با زاویه شروع خطای ٩٠ درجه، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr (حالت چهارم) ٨١

جدول (٤-١٦): نتایج حاصل در حالت چهارم به ازای زوایای شروع خطای مختلف، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr ٨٢

جدول (٤-١٧): نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی در حالت چهارم برای تنظیمات مختلف UPFC و به ازای مقاومتهای گوناگون خطا (خطای تک‌فاز به زمین، زاویه شروع خطای ٩٠ درجه) ٨٣

جدول (٤-١٨): تأثیر CT و CVT بر روش چهارم برای خطاهای مختلف با زاویه شروع خطای ٩٠ درجه، P_{ref}=700MW و Q_{ref}=-100MVAr ٨٤

جدول (٤-١٩): تأثیر ابزارهای اندازه‌گیری نوری بر روش چهارم برای خطاهای مختلف با زاویه شروع خطای ٩٠ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr ٨٥

جدول (٥-١): نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی برای مکان‌های نزدیک پایانه ها با نصب TCSC ٩١

جدول (٥-٢): نتایج بدست آمده با در نظر گرفتن زوایای شروع خطای مختلف با نصب TCSC ٩١

جدول	صفحه
جدول (۵-۳): نتایج حاصل با نصب TCSC در مکان‌های مختلف	۹۲
جدول (۵-٤): تأثیر CT و CVT بر دقت روش ارائه شده با نصب TCSC	۹٤
جدول (۵-۵): تأثیر خطای در اندازه‌گیری بر دقت روش پیشنهادی با نصب TCSC	۹٤
جدول (۵-٦): حساسیت روش پیشنهادی برای خطوط جبران‌شده با ادوات موازی به مقاومت خطا	۹۸
جدول (۵-۷): حساسیت روش پیشنهادی برای خطوط جبران‌شده با ادوات موازی به زاویه شروع خطا	۹۸
جدول (۵-۸): حساسیت روش پیشنهادی برای خطوط جبران‌شده با ادوات موازی به خطاهای اندازه‌گیری	۱۰۰
جدول (٦-۱): درصد نسبت مقدار میانگین قدرمطلق $\Delta p(t)$ به مقدار میانگین قدرمطلق $P^{E}_{Avg}(t)$، برای خطاهای مختلف و به ازای تنظیمات گوناگون UPFC	۱۱۰
جدول (٦-۲): نتایج حاصل در حالت پنجم به ازای مقاومتهای گوناگون خطا، P_{ref}=550MW و Q_{ref}=-150MVAr	۱۱۱
جدول (٦-۳): نتایج حاصل در حالت پنجم به ازای زوایای شروع خطای متفاوت، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr	۱۱۲
جدول (٦-٤): خطاهای مکان‌یابی به ازای تنظیمات گوناگون UPFC در حالت پنجم، (خطای تک‌فاز به زمین و زاویه شروع خطای ۹۰ درجه)	۱۱۳
جدول (٦-۵): تأثیر CT و CVT بر دقت روش پیشنهادی در حالت پنجم برای خطاهای با مقاومتهای مختلف و با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=700MW و Q_{ref}=-100MVAr	۱۱٤
جدول (٦-٦): تاثیر خطای موجود در اندازه‌گیری بر روش پنجم برای خطاهای مختلف با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr	۱۱۵
جدول (٦-۷): تأثیر ابزارهای اندازه‌گیری نوری بر روش پنجم برای خطاهای	

مختلف، با زاویه شروع خطای ۹۰ درجه، P_{ref}=750MW و Q_{ref}=100MVAr ۱۱۶

فصل ۱

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

وقوع انواع اتصال کوتاه، از جمله مهمترین اختلالاتی است که در سیستم انتقال رخ می‌دهد. پس از جدا شدن خط انتقال آسیب‌دیده از شبکه، مهمترین مساله شناسایی دقیق و سریع مکان رخداد خطا در خط انتقال و انجام اقدامات لازم جهت رفع عیب بخش آسیب‌دیده و بازگرداندن سریع خط به شبکه می‌باشد که این موضوع باعث تدوام سرویس‌دهی و افزایش قابل توجه ضریب اطمینان شبکه خواهد گردید. تحقق این هدف توسط مکان‌یاب خطا با محاسبه و تخمین دقیق فاصله نقطه رخداد خطا، انجام-پذیر است. در صورتی که خطا از نوع گذرا باشد، تعیین محل این نوع خطاها می‌تواند به تشخیص نقاط ضعیف و یا آسیب پذیر خط انتقال رهنمون گردد که منجر به اندیشیدن تمهیداتی برای جلوگیری از ایجاد مجدد این نوع خطاها خواهد شد (خصوصاً در نقاطی که مکرراً دچار خطاهای گذرا می‌شوند).

تقاضای روزافزون انرژی الکتریکی سبب توسعه شبکه‌های انتقال برق شده است. اما برای توسعه شبکه‌ها، محدودیتهای سرمایه‌گذاری و احداث خطوط انتقال جدید وجود دارد. با معرفی ادوات FACTS[1] و بکارگیری آنها در سیستم انتقال، امکان افزایش ظرفیت انتقال انرژی تا محدوده حرارتی با در نظر گرفتن محدودیتهای پایداری شبکه وجود دارد که می‌تواند راه حلی مناسب برای این مشکل باشد.

کنترل کننده عبور توان یکپارچه (UPFC[2]) به عنوان یکی از قدرتمندترین ادوات FACTS، از مبدل‌های سری و موازی تشکیل شده است. مبدل سری، ولتاژ سری را با اندازه و فاز متغیر تزریق می‌کند و شاخه موازی، برای جبران توان اکتیوی که توسط مبدل سری جذب و یا تزریق می‌شود و همچنین برای جبران تلفات اتصال DC، نیاز است. مبدل سری می‌تواند به تنهایی به سیستم قدرت وصل شده و بصورت یک جبران‌ساز سری مجزا مورد بهره برداری قرار گیرد، در این حالت مبدل موازی از سیستم

[1] . Flexible AC Transmission Systems
[2] . Unified Power Flow Controller

قدرت جدا می‌شود. در صورتی که شاخه موازی نیز به تنهایی و بصورت مستقل به سیستم وصل گردد، از آن به عنوان جبران‌ساز موازی (STATCOM[1]) بهره برداری می‌گردد.

استفاده از کنترل کننده‌های FACTS خصوصاً UPFC توانایی انتقال توان را بهبود می‌بخشد. این ادوات با استفاده از روش‌های جبران و کنترل سریع و مناسب، توان عبوری را تغییر می‌دهد، به طوری که حد پایداری گذرا افزایش یافته، میرایی مناسبی در سیستم بوجود آمده و از فروپاشی ولتاژ جلوگیری به عمل می‌آید. مزایای استفاده از این ادوات باعث گسترش روزافزون آنها در سیستم‌های قدرت شده است.

در صورتی که در خطی که UPFC در آن نصب شده است خطایی بوجود آید و سیستم حفاظتی این خط را از مدار خارج کند، ممکن است خطوط دیگر دچار بارگذاری سنگین شده و سیستم قدرت در معرض خطر فروپاشی ولتاژ و یا از دست دادن پایداری خود قرار گیرد و یا مجبور به قطع بار شویم. مکان‌یابی خطا در چنین خطوطی در قیاس با خطوط بدون جبران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

وجود ادوات FACTS از جمله UPFC، در خط انتقال، مسائل خاصی در زمینه حفاظت سیستم قدرت و مکان‌یابی خطا بوجود می‌آورد. استراتژی کنترلی ادوات FACTS مسائل دینامیکی جدیدی در سیستم قدرت به وجود می‌آورد که باید در زمان تعیین نواحی[2] عملکرد حفاظتی و همچنین مکان‌یابی خطا در نظر گرفته شود. حضور این ادوات، در حلقه خطا روی مولفه‌های گذرا و حالت ماندگار جریان و ولتاژ تاثیر می‌گذارد و این موضوع باعث تغییر امپدانس، زاویه فاز، اندازه ولتاژ و جریان می‌شود. این مساله بدلیل عکس‌العمل سیستم کنترل این ادوات نسبت به خطا بوجود می‌آید و در محاسبه و تعیین مکان خطا تاثیر گذار است.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند، برای مکان‌یابی خطا در خطوط انتقال جبران‌شده توسط UPFC مطالعات اندکی ارائه شده است. در این رساله، روش‌هایی جدید جهت مشخص نمودن مکان خطا در خطوط انتقال جبران‌شده توسط UPFC، ارائه شده است که بر اساس میزان اطلاعات موجود از ولتاژ و جریان باس‌های UPFC و با توجه به مودهای کاری آن (مود UPFC کامل، مود جبران‌سازی سری و مود جبران‌سازی موازی) طبقه‌بندی و ارائه گردیده است.

[1] . STATic synchronous COMpensator
[2] . Zones

۱-۲- موضوع تحقیق رساله

در زمینه مکان‌یابی خطا در خطوط شامل UPFC مطالعات معدودی ارائه شده است. تعدادی از مقالات عملکرد رله دیستانس را با حضور UPFC بررسی نموده یا امپدانس دیده شده توسط رله را حین خطاهای مشخصی با استفاده از شبیه‌سازی‌ها بدست آورده، یا پیشنهاد استفاده از سیستم حفاظت تطبیقی، با توجه به پارامترهای UPFC داده‌اند.

در این رساله الگوریتم‌هایی برای مکان‌یابی خطا در خطوط جبران‌سازی شده توسط UPFC بر پایه اطلاعات موجود از ولتاژ و جریان باس‌های UPFC و با توجه به مودهای کاری آن، ارائه گردیده که در آنها نکات زیر مورد توجه قرار گرفته است:

– در روش‌های ارائه‌شده، از مدل UPFC استفاده نشده است، زیرا حین خطا با عملکرد سیستم کنترل UPFC، اندازه و فاز ولتاژ تزریقی توسط مبدلهای سری و موازی تغییر کرده و در نتیجه پارامترهای مدل UPFC ثابت نخواهد ماند. عدم استفاده از مدل UPFC در مکان‌یابی خطا مشکلات ناشی از انتخاب مدل مناسب برای UPFC و تعیین مود عملکرد آن را برطرف می‌سازد.

– برای مکان‌یابی خطا، روش‌هایی پیشنهاد گردیده که در حالت‌هایی که ارسال اطلاعات ولتاژ و جریان باس‌های UPFC به محل مکان‌یاب خطا امکان پذیر نباشد، یا تنها امکان اندازه‌گیری و ارسال بخشی از اطلاعات باس‌های آن فراهم شده باشد نیز بتوان مکان‌یابی خطا را با دقت کافی و مناسب انجام داد.

– روش‌های مکان‌یابی خطای ارائه‌شده دارای محاسبات غیرتکراری[1] می‌باشد. یکی از مشکلاتی که محاسبات تکراری[2] با آن مواجه هستند انتخاب شرایط اولیه است که همگرایی این محاسبات به آن بستگی دارد و انتخاب نامناسب شرایط اولیه می‌تواند باعث خطا در نتایج و یا عدم همگرایی این روش‌ها شود.

– در این رساله روش‌هایی پیشنهاد شده که در برخی از آنها نیاز به استفاده از انتخابگر برای تعیین سمت صحیح خطا نسبت به جبران‌ساز وجود ندارد. خطای انتخابگر در روش‌های مکان‌یابی خطا در خطوط جبران‌شده، باعث عدم عملکرد صحیح این روش‌ها می‌شود.

---

[1] . Noniterative
[2] . Iterative

۱-۳- مروری بر مطالب فصل‌های بعد

در فصل دوم، ابتدا تحقیقات انجام شده مرور شده و نقاط ضعف و قوت آنها بررسی گردیده است. پس از آن بیان مساله مکان‌یابی خطا در خطوط انتقال جبران‌شده توسط UPFC، انجام گرفته است. این مساله با توجه به اطلاعات موجود از ولتاژ و جریان باس‌های UPFC و با توجه به مودهای کاری آن، به سه دسته و پنج حالت تقسیم بندی شده که در فصل‌های بعد مفصلاً شرح داده شده است.

در فصل سوم، روش‌های مکان‌یابی خطا در خطوط انتقال جبران‌شده توسط UPFC مربوط به دسته اول و الگوریتم‌های آن مطرح و تشریح شده است. در این دسته از روش‌های ارائه‌شده اطلاعات کامل از ولتاژ و جریان باس‌های UPFC، برای مکان‌یاب خطا در دسترس می‌باشد. پس از آن، دقت عملکرد این روش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در فصل چهارم نیز، روش‌های پیشنهادی مربوط به دسته دوم و الگوریتم‌های مربوط به آن مطرح شده است. در روش‌های مربوط به دسته دوم، فرض بر این است که تنها اطلاعات اختلاف ولتاژ و یا تنها اطلاعات اختلاف جریان باس‌های UPFC، برای مکان‌یاب خطا در دسترس می‌باشد و مابقی این اطلاعات ارسال نشده است. نهایتاً، روش‌های مربوط به دسته دوم نیز در انتهای این فصل، در شرایط مختلف عملکردی و خطا مورد ارزیابی قرار گرفته است.

هر کدام از دو شاخه سری و موازی UPFC می‌تواند به تنهایی به خط انتقال و سیستم قدرت متصل شده و به ترتیب به صورت SSSC[1] و STATCOM[2] مورد بهره برداری قرار گیرد. روش‌های مکان‌یابی خطای ارائه‌شده در فصل چهارم می‌تواند با دقت بالایی برای خطوط جبران‌شده با SSSC (مود جبران‌سازی سری) و STATCOM (مود جبران‌سازی موازی) یا هر جبران‌ساز سری و یا موازی دیگری مورد استفاده قرار گیرد. لذا در فصل پنجم، به بررسی این روش‌ها و ارزیابی آنها برای جبران‌سازهای سری و یا موازی پرداخته شده است.

روش پیشنهادی برای دسته سوم و الگوریتم حل آن در فصل ششم طرح شده و تشریح گردیده است. در دسته سوم هیچ اطلاعاتی از UPFC برای مکان‌یابی خطا موجود نمی‌باشد. این روش نیز با بکارگیری یک سیستم نمونه ارزیابی شده است.

در انتها، در فصل هفتم به نتیجه گیری و بیان پیشنهادات برای کارهای بعدی پرداخته شده است.

---

[1] . Static Synchronous Series Compensator
[2] . STATic synchronous Compensator