برنامه ارائه شفاهی مقالات در نشست ۱: الگوریتم های جدید حفاظتی (۱)

سه‌شنبه ۱۲ دی ماه ۹۱، ساعت: ۱۲:۰۰–۱۰:۳۰، سالن ابوریحان

روسای جلسه: آقای دکتر عسگریان ابیانه، آقای دکتر فرخزاد، آقای دکتر خدرزاده

ترتیب	عنوان مقاله	نام نویسندگان	زمان ارائه	کدمقاله
۱	ارائه روشی جدید جهت تشخیص فاز خطا در خطوط جبران شده با STATCOM	احمد شریعتی، جواد ساده	۱۰:۳۰	۲۱۲۵
۲	الگوریتمی برای بازسازی جریان ثانویه‌ی تخریب شده ی CT در اثر اشباع هسته	میثم جعفرنژاد قره تپه، کاظم مظلومی	۱۰:٤۸	۲۱۲۲
۳	ارائه روشی کارآمد برای هماهنگی حفاظتی بهینه شبکه توزیع و فوق توزیع شهرستان سنندج و ارزیابی عملکرد آن	میثم غلامی، ناجی قادرنژاد، لیلا رشیدی	۱۱:۰٦	٥۱۰٦
٤	الگوریتمی جدید در حفاظت دیفرانسیل خطوط انتقال جبران شده باTCSC	میثم حاجی زاده، دکتر جواد ساده	۱۱:۲٤	۲۱۰۳
٥	طرح های حفاظت ویژه در سیستمهای قدرت	حمید غلامی دهکردی، محمد احمدیان، مجتی خدرزاده	۱۱:٤۲	۱۱۱۱۸

هفتمین کنفرانس تخصصی حفاظت و کنترل سیستمهای قدرت
7th Power Systems Protection & Control Conference PSPC
۱۲-۱۳ دی ماه ۱۳۹۱
IEEE IRAN SECTION
PWUT

ارائه روشی جدید جهت تشخیص فاز خطا در خطوط جبران‌شده با STATCOM

احمد شریعتی[۱و۲] ، جواد ساده [۲]
[۱] شرکت نفت و گاز پارس (POGC) ، ahmad@shariati.ir
[۲]دانشگاه فردوسی مشهد، sadeh@um.ac.ir

چکیده - عملکرد نابجا و ناخواسته المان حفاظتی نصب شده بر روی فاز یا فازهای سالم سبب ایجاد مشکلاتی در سیستم‌های حفاظتی می‌شود. این حالت به خصوص در خطوط جبران‌شده بیشتر به چشم می‌خورد. در این شرایط استفاده از روشی به منظور تشخیص فاز خطا و جلوگیری از عملکرد المان حفاظتی فازهای سالم ضروری به نظر می‌رسد. بیشتر روش‌های تشخیص فاز خطا بر مبنای جریان عمل می‌کنند. در این روش‌ها دامنه جریان فاز و یا اختلاف زاویه بین مؤلفه‌های توالی جریان خطا در محل رله، جهت تشخیص فاز خطا به کاربرده می‌شود. در این مقاله ابتدا تشخیص فاز خطا در خطوط جبران شده با *STATCOM* مورد بررسی قرار گرفته است. سپس روشی به منظور تشخیص فاز خطا در خطوط جبران-شده با *STATCOM* پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی بر مبنای وجود جریان راکتیو اضافی در فازهای سالم می‌باشد. در پایان نیز عملکرد روش پیشنهادی توسط نرم‌افزار *PSCAD* شبیه‌سازی و بررسی شده است.

کلید واژه- حفاظت خطوط انتقال، تشخیص فاز خطا، خطوط جبران‌شده با STATCOM، جبرانسازی موازی

۱- مقدمه

به هنگام ایجاد یک خطا بر روی خط، تشخیص وقوع خطا اولین عملکرد سیستم حفاظتی می‌باشد. تعیین داخلی و یا خارجی بودن خطا عملکرد بعدی سیستم حفاظتی می‌باشد. عملکرد یک رله حفاظتی در این مرحله در دو قالب کلی می‌باشد:

- فعال بودن تمامی المان‌های زمین و فاز موجود در رله و صدور فرمان قطع به هنگام تشخیص خطای داخلی توسط هر کدام از المان‌ها
- تشخیص فاز خطا و قفل کردن المان‌های غیر مرتبط با نوع خطا به منظور جلوگیری از عملکرد ناخواسته المان فاز یا فازهای سالم

به طور کلی در دو حالت، عملکرد نادرست المان فاز یا فازهای سالم رله مشکلاتی برای سیستم‌های حفاظتی ایجاد خواهد نمود که عبارتند از [۱]:

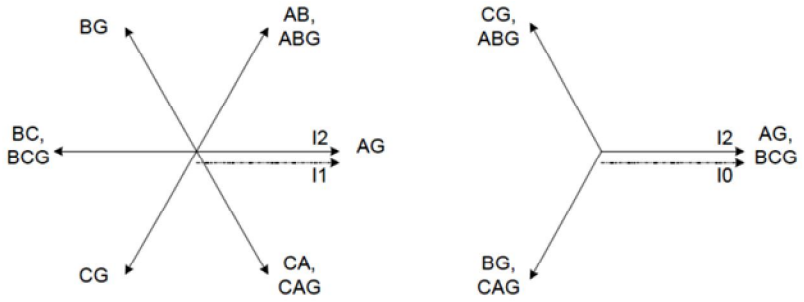
- المان‌های زمین رله دیستانس ممکن است برای خطاهای LLG افزایش برد پیدا کنند.
- المان‌های فاز رله دیستانس ممکن است برای خطاهای LG نزدیک به رله عمل کنند.

حالت اول در تمامی کاربردها یک مشکل کلی محسوب می‌شود اما حالت دوم تنها برای قطع تکفاز مشکل ایجاد می‌کند و در اثر آن نمی‌توان قطع تکفاز را پیاده‌سازی کرد. قطع تکفاز سبب می‌شود انتقال توان در بازه خطا توسط فازهای سالم ادامه داشته باشد و در نتیجه انرژی شتاب‌دهنده ژنراتورها کاهش یافته و حد پایداری گذرا بیشتر شود. این امر نیز به نوبه خود سبب افزایش زمان بحرانی رفع[۱] خطا می‌شود. بنابراین قطع تکفاز از نقطه نظر پایداری حائز اهمیت می‌باشد [۲]. اما به منظور مقابله با مشکل بوجود آمده می‌توان به صورت زیر عمل کرد:

- با تشخیص خطای تکفاز به زمین (Ag) می‌توان المان‌های فاز (AB و CA) را به منظور جلوگیری از قطع سه فاز، غیرفعال نمود.
- با تشخیص خطای دو فاز به زمین (BCg) می‌توان المان‌های زمین (Bg و Cg) را به منظور جلوگیری از افزایش برد آن‌ها غیر فعال نمود. در این حالت المان مربوط به Bg تمایل دارد که برای خطای BCg با مقاومت خطای زمین، افزایش برد پیدا کند. همچنین المان Cg میل دارد که برای خطای BCg با مقاومت خطای بین دو فاز، افزایش برد پیدا کند. لذا

[۱] . Fault clearing critical time

تشخیص فازهای خطا و غیر فعال کردن المان‌های مربوط به



شکل (۱): رابطه فازی بین مؤلفه‌های توالی جریان برای انواع متفاوت خطا [۳]

فازهای سالم، از عملکردهای نابجا جلوگیری می‌کند.

به هنگام وقوع خطا، جریان‌های اتصال کوتاهی از محل رله عبور می‌کنند که معمولاً با جریان‌های بار عبوری از محل رله اختلاف قابل توجهی دارند. همین مسأله مبنای عملکرد برخی از روش‌های تشخیص فاز خطا شده است. در این روش که بر مبنای اندازه جریان عبوری از رله عمل می‌کند، فازهایی که جریان عبوری از آن‌ها از حد تنظیم شده مشخصی بیشتر باشد، به عنوان فاز خطا شناخته می‌شوند. این روش ممکن است در برخی شرایط برای خطاهای مقاومتی که نزدیک به باس دور خطوط بلند رخ می‌دهد و یا در خطوط جبران‌شده موازی با مشکلاتی مواجه شود.

علاوه بر روش یاد شده، برخی از رله‌ها از اختلاف زاویه بین مؤلفه‌های توالی مختلف جریان خطا برای تشخیص فاز خطا استفاده می‌کنند. در این روش اختلاف زاویه بین مؤلفه‌های توالی منفی و صفر جریان خطا و نیز اختلاف زاویه بین مؤلفه‌های توالی مثبت و منفی جریان خطا، مبنای تشخیص فاز خطا می‌باشد.

نحوه عملکرد این روش در شکل (۱) نشان داده شده است [۳]. به عنوان مثال برای یک خطای Ag اختلاف فاز بین مؤلفه‌های توالی مثبت و منفی جریان خطا و نیز اختلاف فاز بین مؤلفه‌های توالی منفی و صفر جریان خطا برابر صفر می‌باشد، در حالیکه برای خطای BCg این مقادیر به ترتیب برابر با ۱۸۰ و صفر درجه می‌باشد.

البته زوایای نشان داده شده در شکل (۱) برای خطاهای غیرمقاومتی می‌باشد، اما باید توجه داشت که وجود مقاومت خطا بر این زوایا تأثیر خواهد گذاشت [۱]. با استفاده از این روش می‌توان نوع خطا را تشخیص داد و المان فاز یا فازهای سالم را غیر فعال نمود. به عنوان مثال اگر اختلاف زاویه بین مؤلفه‌های توالی منفی و صفر جریان خطا نزدیک به صفر باشد، برطبق شکل (۱)، خطا از نوع Ag و یا BCg می‌باشد بنابراین [۱]:

- اگر خطا Ag باشد المان‌های AB یا CA ممکن است به کار بیفتند و برای یک خطای تکفاز به اشتباه هر سه فاز قطع شوند
- اگر خطا BCg باشد ممکن است المان‌های Bg و یا Cg دچار افزایش برد شوند.
- در نتیجه تنها باید المان‌های Ag و BC را فعال نگه داشت.

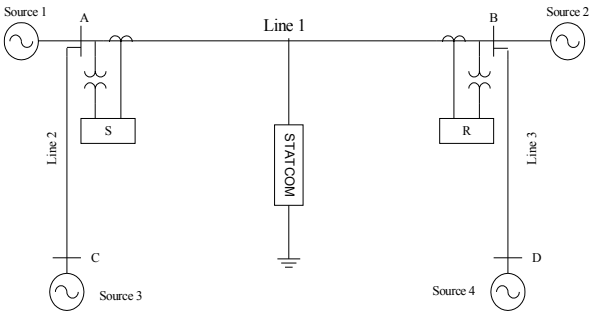
با توجه به توضیحات ارائه شده، تشخیص نوع خطا در خطوط معمولی با مشکل چندانی روبرو نخواهد بود، اما در خطوط جبران‌شده موازی نظیر خطوط جبران‌شده با STATCOM به واسطه تزریق و یا جذب جریان راکتیو، اختلاف زاویه بین مؤلفه‌های توالی جریان خطا دستخوش تغییراتی می‌شود که منجر به اشتباه در تشخیص فاز خطا می‌شود. بنابراین در بخش بعد به بررسی عملکرد تشخیص فاز خطا در خطوط جبران‌شده با STATCOM پرداخته می‌شود و برای رفع مشکلات مشاهده نیز روشی پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهادی بر مبنای اضافه ولتاژهای ناشی از جبرانسازی یکسان STATCOM در فازهای سالم به هنگام وقوع خطاهای نامتقارن می‌باشد.

۲- ارائه روش پیشنهادی

در این بخش به بررسی عملکرد روش‌های متداول تشخیص فاز خطا و نقایص آن‌ها در خطوط جبران‌شده با STATCOM پرداخته شده است. همچنین با توجه به نقایص مشاهده شده، روشی ترکیبی برای تشخیص فاز خطا در اینگونه خطوط پیشنهاد شده است.

سیستم مورد استفاده به منظور شبیه‌سازی در این بخش و

بخش دیگر در شکل (۲) نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود این سیستم دارای چهار باس می‌باشد که

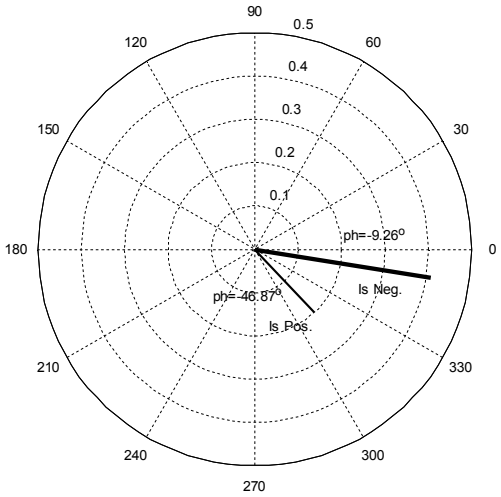


شکل (۲): سیستم مورد مطالعه [۴]

به چهار منبع مشابه متصل شده است. علاوه بر این، سه خط انتقال باس‌های سیستم را به یکدیگر متصل کرده‌اند و خط AB توسط یک STATCOM در میانه خط جبرانسازی شده است. مشخصات دقیق‌تر سیستم در پیوست (الف) ارائه شده است.

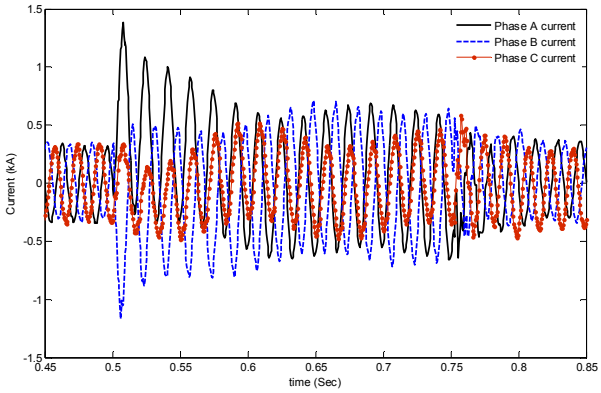
جبرانساز مورد استفاده در این مطالعه نیز یک STATCOM شش پالسه می‌باشد که با استفاده از مبدل منبع ولتاژ مبتنی بر PWM[۱] پیاده‌سازی شده است. این جبرانساز متشکل از یک مبدل می‌باشد که از یک سو به شبکه و از سوی دیگر به یک خازن متصل است. کنترل جبرانساز نیز از طریق دو کنترل‌کننده PID[۲] انجام می‌شود. مشخصات دقیق‌تر جبرانساز مورد نظر در پیوست (ب) ارائه شده است

همانطور که در اشاره شد، STATCOM شامل یک مبدل الکترونیک قدرت می‌باشد که ولتاژی با دامنه و زاویه دلخواه تولید کرده و از طریق ترانسفورماتور تزویج به شبکه منتقل می‌کند. بنابراین نحوه اثرگذاری STATCOM به روش کلیدزنی مورد استفاده در آن مربوط می‌شود. در جبرانساز STATCOM معمولاً از روش آتش یکسان سوئیچ‌ها در فازهای مختلف استفاده می‌شود [۴]. در این روش یک ولتاژ DC معادل بر مبنای ولتاژ هر سه فاز محاسبه می‌شود و سپس با ولتاژ مرجع مقایسه می‌شود و با توجه به انحراف ولتاژ معادل از مقدار مرجع، سیگنال آتش برای تریستورهای یک فاز محاسبه شده و برای دو فاز دیگر به اندازه ۱۲۰ درجه پیشفاز و پسفاز می‌شود. به عبارت دیگر سیگنال‌های آتش سوئیچ‌های هر فاز به طور جداگانه بر مبنای ولتاژ آن فاز محاسبه نمی‌شوند. بنابراین حتی در مواردی که افت ولتاژ به طور نامتقارن می‌باشد، جبرانسازی به صورت متقارن و یکسان برای هر سه فاز انجام می‌شود. این عمل منجر به جبرانسازی اضافی در فازهای سالم شده و بنابراین سبب می‌شود جریان راکتیو اضافی در فازهای سالم مشاهده شود. این عمل



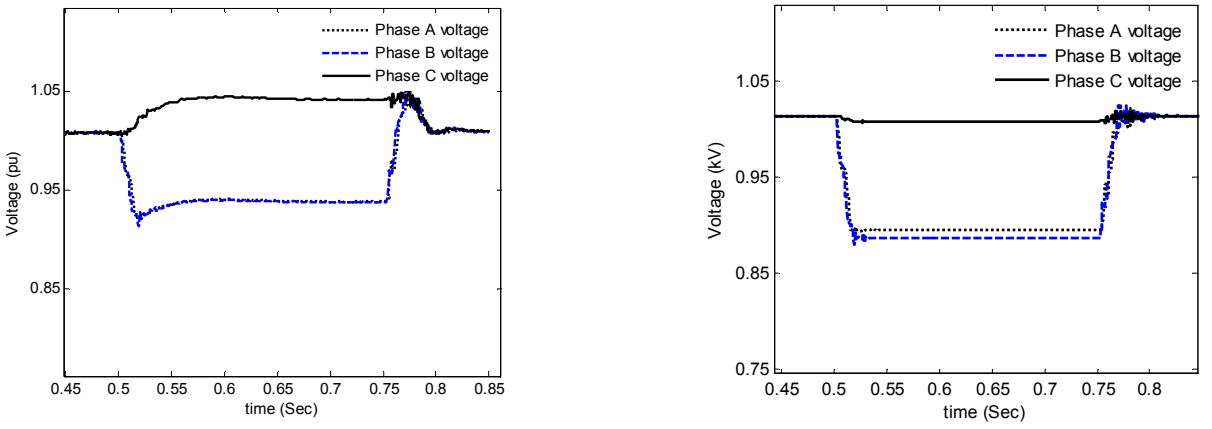
شکل (۳): اختلاف فاز بین مؤلفه‌های توالی مثبت و منفی جریان عبوری از رله برای خطای AB در ۹۰٪ طول خط

علاوه بر ایجاد اضافه ولتاژ در فازهای سالم، سبب تغییر زوایای بین مؤلفه‌های توالی جریان می‌شود و در نتیجه روش‌های مبتنی بر استفاده از این زوایا برای تشخیص فاز خطا با مشکل مواجه می‌شوند [۵-۸]. به عبارت دیگر، تزریق جریان راکتیو توسط STATCOM و وجود جریان راکتیو زیادی در فازهای سالم سبب می‌شود اختلاف زوایای نشان داده شده در شکل (۱) دستخوش تغییر شده و دیگر برقرار نباشد. نمونه‌ای از این حالت در شکل (۳) نشان داده شده است. این شکل اختلاف فاز بین مؤلفه‌های توالی مثبت و منفی جریان خطا را برای یک خطای فاز به فاز (AB) نمایش داده است. مطابق با شکل (۱) اختلاف فاز بین جریان‌های مؤلفه توالی منفی و مثبت برای خطای فاز به فاز AB باید برابر با ۶۰ درجه باشد در حالیکه در شکل (۳) برابر با ۳۷/۶ درجه می‌باشد و بنابراین بوسیله روش تشخیص فاز نشان داده شده در شکل (۱) نمی‌توان نوع خطا را تشخیص داد.



۱. Pulse Width Modulation
۲. Proportional-Integrative-Derivative

شکل (۴): جریان فازهای A، B و C برای خطای ABg در ۹۰٪ طول خط (بازه خطا بین ۰/۵ تا ۰/۵۷ ثانیه می‌باشد)



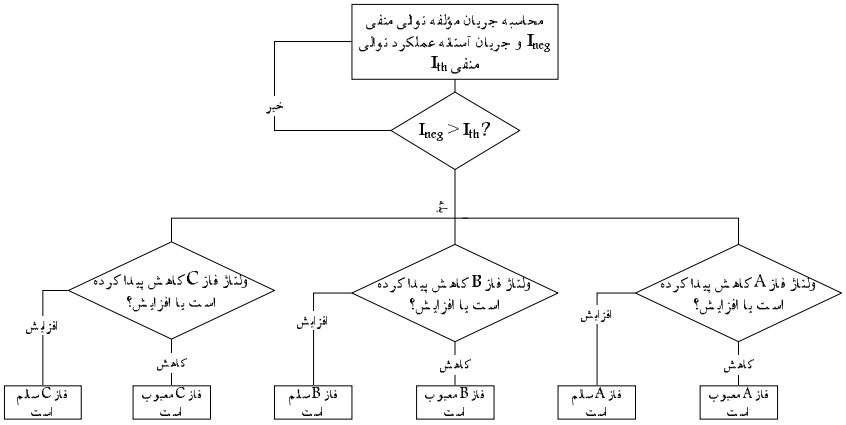
(الف) (ب)

شکل (۵): اضافه ولتاژ در فازهای سالم به هنگام وقوع خطای نامتقارن: الف) خط معمولی ب)خط جبران‌شده توسط STATCOM در میانه خط

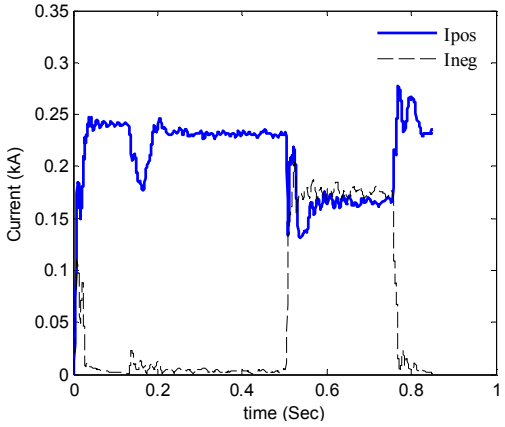
استفاده از دامنه جریان فاز به منظور تشخیص فاز خطا در خطوط جبران شده با STATCOM نیز چندان کارآمد به نظر نمی‌رسد. تزریق جریان توسط STATCOM در بازه خطا سبب می‌شود جریان عبوری از محل رله در مقایسه با خطوط جبران‌نشده کاهش یابد. همچنین باید توجه داشت که جبرانسازی در میانه خط معمولاً بر روی خطوط طولانی انجام می‌شود و بنابراین امپدانس بین محل رله تا نقطه خطا به خصوص برای خطاهای نزدیک به باس دور زیاد بوده و سبب کاهش بیش از پیش جریان عبوری از محل رله می‌شود. نمونه‌ای از این شرایط در شکل (۴) نشان داده شده است. در این شکل جریان فازهای A، B و C عبوری از محل رله به هنگام وقوع خطای فاز به فاز به زمین ABg در ۹۰٪ طول خط نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود، علیرغم وجود خطا بر روی فاز B، جریان آن نسبت به فاز سالم C چندان افزایش پیدا نکرده است. با توجه به این موضوع به نظر می‌رسد استفاده از دامنه جریان خطا به منظور تشخیص فاز خطا روش مقاوم و کارآمدی نباشد و امکان استفاده از آن با توجه به شرایط شبکه باید بررسی شود.

همانطور که اشاره شد، عملکرد یکسان STATCOM برای فازهای سالم و معیوب سبب تزریق جریان راکتیو اضافی و در نتیجه اضافه ولتاژ در فازهای سالم می‌شود که می‌تواند به عنوان معیاری برای تشخیص فاز خطا به کار رود. شکل (۵) به منظور مقایسه اثر اضافه ولتاژ در فازهای سالم در یک خط جبران‌شده بوسیله STATCOM در میانه خط با یک خطای نامتقارن در یک خط معمولی ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در یک خط معمولی در اثر وقوع یک خطای نامتقارن، هیچ‌گونه اضافه ولتاژی در فازهای سالم دیده نمی‌شود ولی در یک خط جبران‌شده ولتاژ فازهای سالم در اثر جبرانسازی اضافی افزایش می‌یابد.



شکل (۶): فلوچارت روش پیشنهادی به منظور تشخیص فاز خطا در خط جبران شده با STATCOM



شکل (۷): مؤلفه توالی مثبت و منفی جریان محل رله برای خطای Ag در ۹۵٪ طول خط

به نظر می‌رسد جهت جلوگیری از اشتباه شدن خطای نامتقارن با سایر حالت‌های گذرای شبکه از جمله افزایش ناگهانی و غیرمتقارن بار، باید از روشی برای تشخیص خطا استفاده شود. برای این منظور پیشنهاد می‌شود از مؤلفه توالی منفی جریان خطا استفاده شود. مزیت مؤلفه توالی منفی جریان خطا این است که در جریان بار به میزان قابل توجهی وجود ندارد. علاوه بر این، اختلاف بین مؤلفه توالی منفی جریان قبل از وقوع خطا و در بازه خطا قابل توجه می‌باشد. بنابراین می‌توان مؤلفه توالی منفی جریان خطا را به منظور تشخیص خطا از سایر پدیده‌های گذرا انتخاب نمود.

با توجه به مطالب یاد شده، روش پیشنهادی به منظور تشخیص فاز خطا که مطابق با فلوچارت ارائه شده در شکل (۶) می‌باشد دارای مراحل اصلی زیر است:

- تشخیص وقوع خطا با استفاده از جریان مؤلفه توالی منفی
- بررسی ولتاژ فازهای مختلف و تشخیص فازهایی که با اضافه ولتاژ و یا کاهش ولتاژ مواجه شده‌اند.
- تشخیص فاز خطا و جلوگیری از عملکرد المان فاز یا فازهای سالم

عملکرد روش پیشنهادی در بخش بعدی توسط نرم‌افزار PSCAD شبیه‌سازی شده و توانایی آن در تشخیص فاز خطا مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- ارزیابی روش پیشنهادی

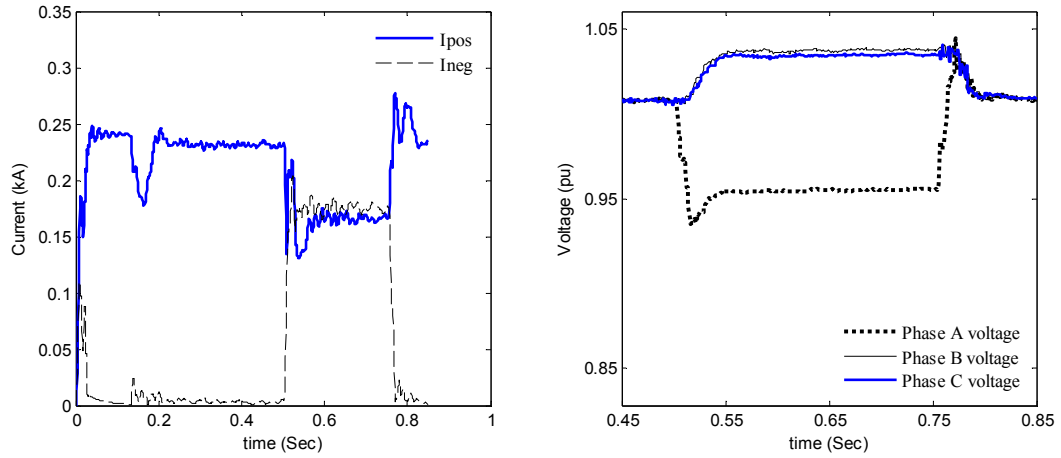
همانطور که در بخش قبل اشاره شد، استفاده همزمان از مؤلفه توالی منفی جریان به همراه اضافه ولتاژ به وجود آمده در فازهای سالم، می‌تواند به عنوان معیاری برای تشخیص فاز خطا به کار رود.

در روش پیشنهادی، جریان مؤلفه توالی منفی به عنوان شاخصی برای تعیین وقوع خطا به کار می‌رود و به کمک آن می‌توان خطا را از سایر پدیده‌های گذرا شناسایی نمود. برای این منظور نیاز است که آستانه عملکردی برای این جریان در نظر گرفته شود. جهت تنظیم آستانه جریان مؤلفه توالی منفی برای تشخیص وقوع خطا می‌توان مانند تنظیم کردن سایر روش‌های جریانی، از جریان مؤلفه توالی منفی خطا در انتهای ناحیه حفاظتی مورد نظر استفاده کرد. به همین منظور یک خطای تک‌فاز به زمین Ag در ۹۵٪ خط AB شکل (۲) شبیه‌سازی شده و جریان مؤلفه توالی منفی آن در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به اینکه جریان مؤلفه توالی منفی نمایش داده شده در شکل (۷) برابر با ۰/۱۷ کیلوآمپر می‌باشد، بنابراین می‌توان آستانه تشخیص وقوع خطا را برابر با ۰/۱ کیلوآمپر در نظر گرفت. به این ترتیب اگر در اثر یک پدیده گذرا جریان مؤلفه توالی منفی از مقدار ۰/۱ کیلوآمپر بیشتر شود می‌توان آن را به عنوان خطا در نظر گرفت. همچنین با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده سطح ولتاژ برای تشخیص اضافه ولتاژ در فاز سالم، افزایش ۰/۰۳ پریونیت نسبت به ولتاژ پیش از خطا می‌باشد.

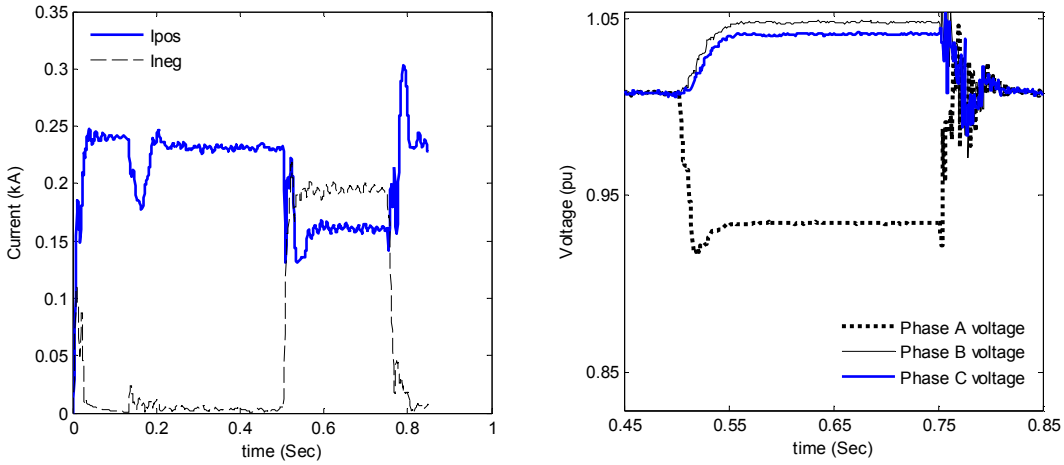
جهت بررسی صحت روش پیشنهادی ولتاژ فاز و نیز جریان مؤلفه توالی منفی محل رله برای انواع مختلف خطا در شکل‌های (۸-الف) تا (۸-ج) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن آستانه جریان مؤلفه توالی منفی ۰/۱ کیلوآمپر، در تمامی حالات وقوع خطا به خوبی تشخیص داده می‌شود. همچنین با بررسی اضافه ولتاژ و کاهش ولتاژ در فازهای مختلف و آستانه ولتاژ ۰/۰۳ پریونیت ، فاز سالم نیز از فاز خطا قابل تشخیص خواهد بود.

به عنوان مثال در شکل (۸-الف) که یک خطای تک‌فاز به زمین در ۹۵٪ خط را نشان می‌دهد، جریان مؤلفه توالی منفی ۰/۱۷ کیلوآمپر بوده و در نتیجه با در نظر گرفتن آستانه تشخیص خطای ۰/۱ کیلوآمپر، خطا قابل تشخیص خواهد بود. همچنین از آنجا که فاز A و B دچار اضافه ولتاژ شده‌اند و فاز C نیز با کاهش ولتاژ روبرو است، بنابراین فاز C به عنوان فاز خطا و فاز A و B به عنوان فازهای سالم در نظر گرفته می‌شوند. در شکل‌های (۸-ب) و (۸-ج) نیز چون جریان خطا از ۰/۱ کیلوآمپر بیشتر می‌باشد، تشخیص وقوع خطا امکان‌پذیر خواهد بود. همچنین در این سه شکل، فازهایی که با اضافه ولتاژ روبرو شده‌اند فازهای سالم می‌باشند و بنابراین تشخیص فاز خطا

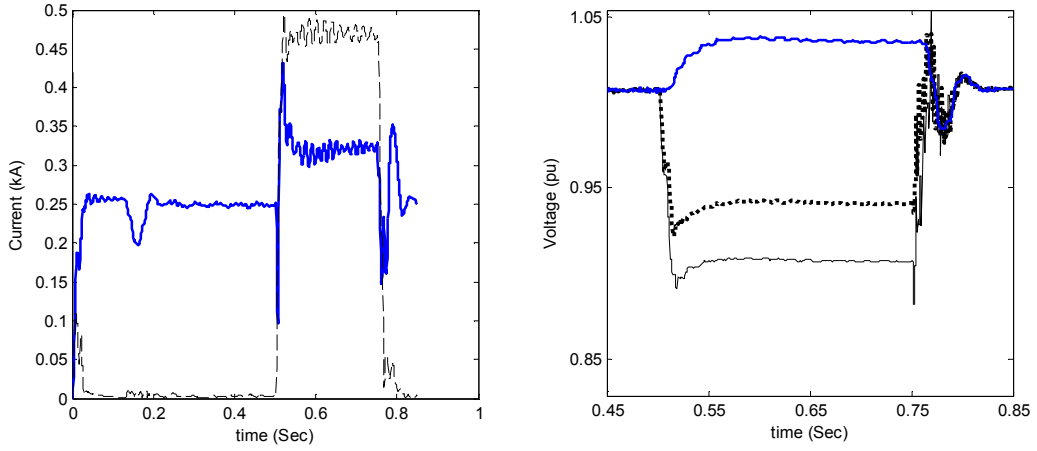
امکان‌پذیر خواهد بود.



شکل (۸-الف)

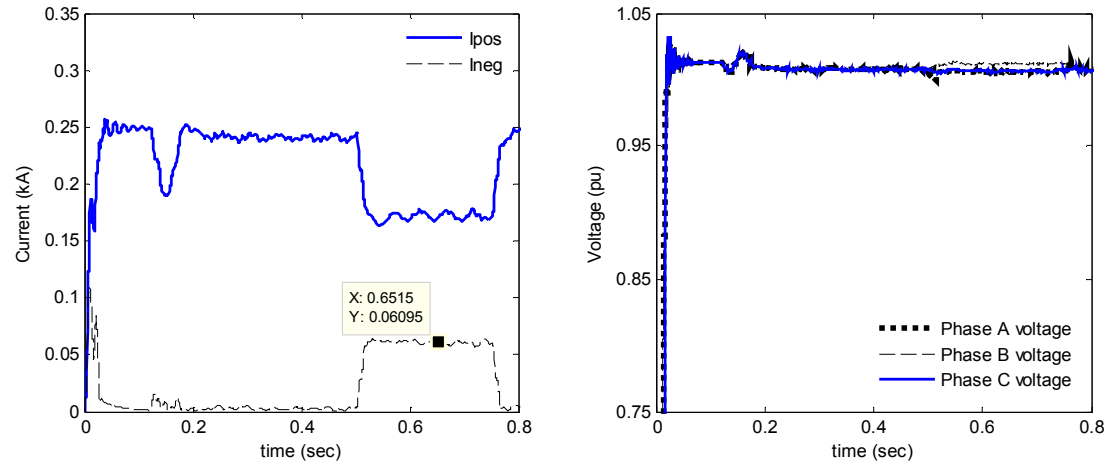


شکل (۸-ب)

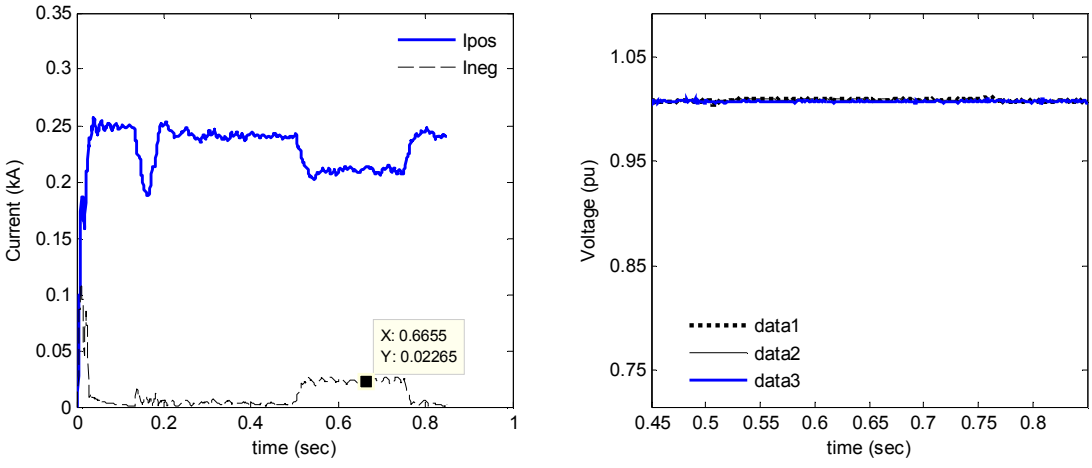


شکل (۸-ج)

شکل (۸): تغییرات ولتاژ فاز و جریان مؤلفه توالی مثبت و منفی در محل رله در اثر انواع خطا: الف) خطای Ag در ۹۵٪ طول خط ب) خطای Ag در ۷۵٪ طول خط ج) خطای ABg در ۶۵٪ طول خط



(الف)



(ب)

شکل (۹): تغییرات ولتاژ فاز و جریان مؤلفه توالی مثبت و منفی در محل رله در اثر افزایش بار ناگهانی: الف) در ۳۰٪ طول خط ب) در ۸۰٪ طول خط

به منظور مقایسه خطای نامتقارن با افزایش بار ناگهانی نامتقارن در خطوط جبران‌شده با STATCOM و بررسی صحت عملکرد روش پیشنهادی در این حالت، اتصال ناگهانی یک بار تک‌فاز به میزان ۱۳۲ مگاوات در لحظه t=۰/۵ ثانیه به ترتیب در ۳۰٪ و ۸۰٪ طول خط انتقال شبیه‌سازی و در شکل‌های (۹-الف) و (۹-ب) نمایش داده شده اند.

هر چند که حالت در نظر گرفته شده برای اتصال بار نامتقارن بسیار شدید می‌باشد، اما جریان مؤلفه توالی منفی بسیار کمتر از ۰/۱ کیلوآمپر می‌باشد و بنابراین این حالت بعنوان خطا در نظر گرفته نمی‌شود. علاوه بر این، افزایش و یا کاهش ولتاژ قابل توجهی در هیچ‌کدام از فازها به چشم نمی‌خورد. بنابراین با استفاده از روش پیشنهادی و آستانه جریان مؤلفه توالی منفی برابر با ۰/۱ کیلوآمپر، می‌توان تشخیص داد که شکل‌های (۹-الف) و (۹-ب) خطا نمی‌باشند. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده در شکل‌های (۸) و (۹) می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از روش پیشنهادی به منظور تشخیص فاز خطا و کاربرد آن به منظور غیرفعال کردن (بلاک کردن) المان مربوط به فاز یا فازهای سالم، سیستم‌های حفاظتی در خطوط جبران‌شده از عملکرد نابجای المان فاز یا فازهای سالم در امان خواهند بود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش‌های متداول تشخیص فاز خطا تشریح شده‌اند و عملکرد آن‌ها در خطوط معمولی و جبران‌شده با STATCOM نصب شده در میانه خط مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده می‌شود که تزریق و یا جذب جریان راکتیو توسط STATCOM سبب می‌شود که اختلاف زاویه بین مؤلفه‌های توالی جریان خطا تغییر کرده و در نتیجه روش‌های تشخیص فاز خطای مبتنی بر اختلاف زاویه بین مؤلفه‌های توالی جریان با مشکل مواجه شوند. همچنین تزریق جریان به میانه خط توسط جبرانساز و نیز طولانی بودن خطوط جبران‌شده در بیشتر موارد

سبب کاهش سهم جریان رله در جریان خطا می‌شود. به عبارت دیگر، جبرانسازی STATCOM سبب کاهش جریان خطای عبوری از محل رله می‌شود و در نتیجه تشخیص فاز خطا بوسیله جریان خطای عبوری از محل رله با مشکل مواجه می‌شود. بنابراین روشی ترکیبی بر مبنای جریان مؤلفه توالی منفی و نیز اضافه ولتاژ در فازهای سالم جهت تشخیص فاز خطا در خطوط جبران شده با STATCOM پیشنهاد شده است. همزمانی افزایش جریان توالی منفی و اضافه ولتاژ در فازهای سالم حائز اهمیت می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این روش نشان‌دهنده عملکرد موفق آن در تشخیص فاز خطا می‌باشد.

پیوست

پیوست (الف)

مشخصات سیستم مورد مطالعه

خط انتقال	
طول خط	۳۰۰ کیلومتر
امپدانس توالی مثبت	$0.51 \angle 85.92^{o}\ \Omega/km$
امپدانس توالی صفر	$1.385 \angle 74.68^{o}\ \Omega/km$
منابع	
توان و نامی	۱۰۰ مگا ولت آمپر
ولتاژ نامی	۲۳۰ کیلوولت
فرکانس نامی	۶۰ هرتز
امپدانس	$25.9 \angle 80.0^{o}\Omega$

پیوست (ب)

مشخصات STATCOM طراحی شده

STATCOM	
نوع ترانسفورماتور تزویج	دو سیم پیچه Yd
نسبت ولتاژ	۲۳۰/۲۵ کیلوولت
توان نامی ترانسفورماتور	۱۰۰ مگاولت‌آمپر
امپدانس ترانسفورماتور	۰/۲۵ پریونیت
توان نامی STATCOM	±۱۰۰ مگاولت‌آمپر
ظرفیت خازن	۲۲۰۰ میکروفاراد

ضرایب کنترل‌کننده PID زاویه جابجایی	
ضریب بلوک انتگرال‌گیر (K_I)	۱۶۶/۷
ضریب بلوک مشتق‌گیر (K_D)	۰/۵۱
ضریب بلوک تناسبی (K_P)	۵۳
ضریب کنترل‌کننده PID اندیس مدولاسیون	
ضریب بلوک انتگرال‌گیر (K_I)	۱۲۵
ضریب بلوک مشتق‌گیر (K_D)	۰/۰۰۱
ضریب بلوک تناسبی (K_P)	۳/۵

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایت‌های شرکت نفت و گاز پارس (POGC) قدردانی به عمل می‌آید.

مراجع

[۱] E.O. Schweitzer And J. Roberts, "Distance Relay Element Design", *٤٦th Annual Conference For Protective Relay Engineers*, Texas A&M University, April ١٢-١٤, ١٩٩٣.

[۲] F. Calero and D. Hou, "Practical Considerations for Single-Pole-Trip Line-Protection Schemes", *٥٨th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, pp. ٦٩-٨٥, ٢٠٠٥.

[۳] B. Kasztenny and D. Finney, "Fundamentals of Distance Protection", *٦١st Annual Conference for Protective Relay Engineers,* ١-٣ April ٢٠٠٨, pp. ١-٣٤.

[۴] F.A. Albasri, T.S. Sidhu and R.K. Varma, "Performance Comparison of Distance Protection Schemes for Shunt-FACTS Compensated Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. ٢٢, no. ٤, October ٢٠٠٧.

[۵] F.A. Albasri, T.S. Sidhu and R.K. Varma, "Impact of Shunt-FACTS on Distance Protection of Transmission Lines", *Power Systems Conference*, pp. ٢٤٩-٢٥٦, ١٤-١٧ March ٢٠٠٦.

[۶] T. S. Sidhu, R. K. Varma, P. K. Gangadharan, F.A. Albasri and G.R. Ortiz, "Performance of Distance Relays on Shunt FACTS Compensated Transmission Lines", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. ٢٠, no. ٣, July ٢٠٠٥.

[۷] A. Shariati and J. Sadeh "A Novel Communication Aided Approach for Protection of Shunt Compensated Transmission Lines" *٤th Power System Protection & Control Conferenec, PSPC*, ١٢-١٤ Jan. ٢٠١٠, Tehran.

[۸] S. Subramanian, A. Perks, S.B. Tennakoon and N. Shammas, "Protection Issues Associated with the Proliferation of Static Synchronous Compensator (Statcom) Type Facts Devices in Power Systems", UPEC, ٦-٨ September ٢٠٠٦.