استفاده از محدودکننده ابررسانایی جریان خطا در سیستمهای توزیع شعاعی برای بهبود مسأله افزایش دینامیکی ولتاژ

حسین حیدری مجتبی صفدری رضا شریفی فرامرز فقیهی
قطب علمی اتوماسیون و بهره‌برداری از سیستمهای قدرت
دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت ایران

کلمات کلیدی: کیفیت توان، افزایش دینامیکی ولتاژ (Voltage swell)، محدودکننده جریان خطا (FCL)

چکیده:

مسئله کیفیت توان با توجه به افزایش آگاهی مصرف‌کننده‌ها و رشد بارهای حساس در سیستم قدرت، یکی از موارد مورد توجه شرکتهای توزیع برق است. افزایش مقدار موثر یا ماکزیمم ولتاژ بین ۱/۸-۱/۱ پریونیت در فرکانس اصلی برای مدت زمان ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه را بعنوان افزایش دینامیکی ولتاژ تعریف می‌کنند که یکی از مسائل کیفیت توان است. قطع بارهای پرمصرف و یا وصل یک بانک خازنی و همچنین شرایط خطا در سیستم قدرت که باعث افزایش موقتی ولتاژ در خطوط بدون خطا می‌شود از دلایل اصلی ایجاد افزایش دینامیکی ولتاژ در سیستم قدرت است. تجهیزاتی نظیر DVR ها، ادوات FACTS و محدودکننده‌های جریان خطا بارهای سیستم را در مقابل اثرات سوء افزایش دینامیکی ولتاژ حفاظت می‌کنند. این مقاله با استفاده از شبیه‌سازیهای کامپیوتری چگونگی تصحیح افزایش دینامیکی ولتاژ توسط محدودکننده جریان خطا در یک سیستم توزیع را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۱. مقدمه

واژه کیفیت توان از اواخر دهه ۱۹۸۰ بصورت یکی از معروفترین اصطلاحات صنعت برق درآمده است. این واژه بعنوان یک مفهوم فراگیر برای انواع اغتشاشات سیستم قدرت بکار میرود.

هر مشکل توان که در اندازه ولتاژ, جریان ویا فرکانس ظاهر شود و در نتیجه آن تجهیزات مصرف‌کننده دچار نقص یا عملکرد نادرست شود را به عنوان مشکل کیفیت توان معرفی می‌کنند [۱].

دلایل اصلی اهمیت موضوع کیفیت توان در سیستمهای توزیع امروزی بقرار زیر است [۲]:

- بارهای جدید نسبت به تغییرات کمی و کیفی برق دارای حساسیت بیشتری شده‌اند و این بدلیل استفاده از اجزای میکروپرسسوری و تجهیزات الکترونیک قدرت در این بارها است که نسبت به اغتشاشات توان حساسیت بالایی دارند.
- افزایش توجه به بازده در سیستم قدرت که باعث بکاربردن تجهیزات بازده بالا، درایوهای موتور با سرعت قابل تنظیم و خازنهای شنت که به منظور اصلاح ضریب توان بکار می‌روند که در نتیجه این امر سطح اتصال کوتاه بالا رفته و مصرف‌کننده‌ها نسبت به قابلیت سیستم حساستر می‌شوند.
- افزایش بیشتر آگاهیهای مصرف‌کننده‌های انتهایی در مورد مسائل کیفیت توان که باعث توجه بیشتر شرکتهای توزیع برق به مشکلات کیفیت توان می‌شود.
- اتصالات داخلی در سیستم قدرت بیشتر شده و مسائل کیفیت توان بالا رفته و اهمیت بالایی پیدا کرده است.

جریان بارها بستگی به نوع بار دارد و ارتباطی با ولتاژ ایجادشده توسط ژنراتور ندارد در نتیجه در بررسی مسائل کیفیت برق، ولتاژ است که مورد بررسی قرار می‌گیرد ولی برای فهم بسیاری از مشکلات باید پدیده‌های مربوط به جریان نیز مورد بررسی قرار گیرند.

کیفیت توان اثرات اقتصادی فراوانی برای شرکت های توزیع برق و مشترکین و تولید کنندگان تجهیزات الکتریکی به همراه دارد. پایین بودن کیفیت توان موجب کاهش عمر تجهیزات الکتریکی، افزایش تلفات شبکه و در نهایت پایین آمدن راندمان سیستم قدرت و افزایش هزینه‌ها می‌گردد. همچنین موجب قطعی توان و عدم فروش انرژی و پایین آمدن درآمد شرکت توزیع برق می‌شود. استفاده مشترکین صنعتی از تجهیزات الکترونیکی حساس با راندمان بالا نسبت به تجهیزات الکترومکانیکی و با توجه به اینکه تجهیزات جدید نسبت به تغییرات منبع ولتاژ بسیار حساس بوده وبا کاهش ولتاژ سیستم‌های کنترلی عمل می نمایند شبکه توزیع کارخانه را قطع وباعث کاهش تولید و در نهایت زیان‌های مالی به مصرف‌کنندگان می‌گردد. در این راستا بحث بهبود کیفیت توان تحویلی به مشترکان در میان شرکت‌های توزیع برق کشور به عنوان موضوع اصلی رقابت در آینده نچندان دور مطرح می‌باشد. بعلاوه امکان استفاده از شبکه توزیع موجود جهت ایجاد قابلیت دسترسی مشتریان به گزینش تولید کنندگان و توزیع کنندگان به عنوان مسئله جدی در راه خصوصی سازی واقعی صنعت برق خود نمایی می‌کند.

با توجه به اهمیت بالای مسائل کیفیت توان در شبکه قدرت، تحقیقات گسترده‌ای بر روی بهبود این مسائل در حال انجام است در بررسیهای اولیه تاثیرات خازنهای سری و موازی و همچنین راکتورهای سری بر روی معضلات کیفیت توان مورد مطالعه قرار گرفته است [۳].

با توسعه ادوات FACTS و همچنین تجهیزات اینورتری، بهبود مسائل کیفیت توان با استفاده از انواع مختلف این تجهیزات مورد بررسی قرار گرفت و نقاط قوت و ضعف هر یک از این ادوات معرفی شد [۹-۴].

اتصال کوتاه یکی از خطاهای مهم در سیستم توزیع است که در زمان وقوع، با توجه به کاهش ولتاژ شبکه در مقایسه با سیستم انتقال، جریان خطا تا بیشتر از ۱۰ برابر جریان نامی و بالاتر افزایش می‌یابد. با افزایش قدرت اتصال کوتاه لازم است تجهیزات حفاظتی مورد استفاده در شبکه بهبود یافته و در صورت لزوم با تجهیزات دیگری جایگزین شوند که باعث خواهد شد هزینه توسعه شبکه افزایش یابد. اما اگر به روشی بتوان پس از آشکارسازی خطا، جریان را محدود نمود، از نظر فنی و اقتصادی صرفه‌جویی قابل توجهی صورت می‌گیرد. انواع مختلفی از محدود کننده‌های خطا تا به حال برای شبکه‌های توزیع و انتقال معرفی شده‌اند که ساده‌ترین آنها فیوزهای معمولی است که البته پس از هر بار وقوع اتصال کوتاه باید تعویض شوند. محدودسازهای اولیه با استفاده از کلیدهای مکانیکی امپدانسی را در زمان خطا در مسیر جریان قرار می‌دادند. با ورود ادوات الکترونیک قدرت کلیدهای تریستوری برای این موضوع مورد استفاده قرار گرفتند و

مـدارهای متعـددی ازجملـه مـدارهای امپـدانس تـشدید و راکتورهای ابررسانا، ارائه گردیده است [۱۵-۱۰].

با مطرح‌شدن تجهیزات محدودکننده جریان خطا و کاربرد آن در شبکه قدرت و تحقیقات جدید انجام شده بر روی نوع ابررسانایی ایـن تجهیـزات، تـاثیر ایـن ادوات بـر روی انـواع پارامترهای کیفیت توان بررسی شده است [۱۸-۱۶].

در این مقاله ابتدا افزایش دینامیکی ولتاژ و نحوه ایجاد آن در سیـستم قـدرت بیـان مـی‌شـود. سـپس بـا معرفـی انـواع محدودکننده‌هـای جریـان خطـا، روی محدودکننـده ابررسـانا متمرکز شده و پس از شبیه‌سازی یک خطای تکفاز در سیستم قدرت، تاثیر محدودکننده جریان خطا بر روی بهبـود افـزایش دینامیکی ولتاژ مورد بررسی می‌گیرد.

۲. افزایش دینامیکی ولتاژ

پارامترهای کیفیت توان در یک سیستم قـدرت عبارتنـد از کاهش دینامیکی ولتاژ، افزایش دینـامیکی ولتـاژ، عـدم تعـادل ولتاژ، هارمونیکها، شکاف ولتاژ و مولفه DC.

افزایش مقدار موثر یا جریـان بـین ۱/۸-۱/۱ پریونیـت در فرکانس اصلی برای مـدت زمـان ۰/۵ سـیکل تـا یـک دقیقـه بعنوان افزایش دینامیکی ولتاژ تعریف شـده و علـل ایجـاد آن یکی شرایط خطا در سیستم قدرت است کـه باعـث افـزایش موقتی ولتاژ در خطوط بدون خطـا مـی‌شـود و دیگـری قطـع بارهای پرمصرف و یا وصل یک بانک خازنی می‌باشد.

افزایش دینامیکی ولتاژ اغلب نسبت بـه کـاهش دینـامیکی ولتاژ مخربتر اسـت. شـرایط افـزایش دینـامیکی ولتـاژ باعـث شکست عایقی در تجهیزات بار و تولیدکننده تـوان مـی‌شـود. این تاثیرات بصورت تدریجی و تجمعی است و اگر زمـان آن بیشتر از سه سیکل باشد تاثیرات آن در روشنایی لامـپ قابـل ملاحظه است.

احتمال وقوع افزایش دینامیکی ولتاژ بسیار کمتر از کاهش دینامیکی ولتاژ است و معمولاً همراه ایجـاد خطـا در سیـستم بوجود می‌آید. افزایش دینامیکی ولتاژ در اثر خطای تکفـاز در سیستم توزیع سه فاز رخ می‌دهد کـه باعـث افـزایش موقـت ولتاژ در فازهـای سـالم مـی‌شـود. ایـن مـورد بخـصوص در سیستمهای زمین نشده یا سیستمهای مثلث نمود دارد که یـک تغییر اتفاقی در مرجع زمین باعث افـزایش ولتـاژ در فازهـای سالم می‌شود. در یک سیستم زمـین نـشده ولتاژهـای فـاز بـه زمین در فازهای سالم برابـر ۱/۷۳ پریونیـت در حالـت خطـا خواهد بود. نزدیک پستها و ایستگاهها در یک سیـستم زمـین نشده افزایش ولتـاژی در فازهـای سـالم رخ نمـی‌دهـد زیـرا ترانسها غالباً به صورت ستاره-مثلث هستند که یـک امپـدانس کم جهت عبور جریان خطا ایجاد می‌کنند.

۳. محدودکننده جریان خطا

توسعه روزافزون سیستمهای توزیع انـرژی الکتریکـی بـه دلیل نیاز به بالا بـودن ظرفیـت آنهـا سـبب تولیـد جریانهـای خطای بزرگتر و در نتیجه ازدیاد گرمای حاصله ناشی از عبور جریان القـائی زیـاد در ژنراتورهـا، ترانـسفورماتورها و سـایر تجهیزات و همچنین کاهش قابلیت اطمینان شبکه می‌شود. لذا عبور چنین جریانی از شـبکه احتیـاج بـه تجهیزاتـی دارد کـه توانایی تحمل این جریان را داشته باشند و جهـت قطـع ایـن جریـان نیازمنـد کلیـدهایی بـا قـدرت قطـع بـالا هـستیم کـه هزینه‌های سنگینی به سیستم تحمیل می‌کند.

از آنجاییکـه جریـان اتـصال کوتـاه در لحظـات اولیـه بـه خصوص در پریود اول مـوج جریـان، دارای بیـشترین دامنـه است و بیشترین اثرات مخرب از همین سیکل‌های اولیه ناشی می‌شود باید محدودسـازهای جریـان خطـا بلافاصـله بعـد از وقوع خطا در مدار قرار گیرند.

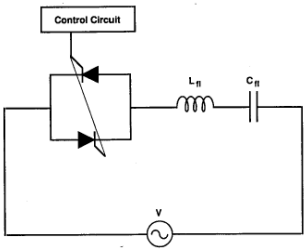
محدودکننده‌های جریـان اتـصال کوتـاه طراحـی شـده در دهه‌های اخیر، عناصری سری بـا تجهیـزات شـبکه هـستند و وظیفه دارند جریان اتصال کوتاه مـدار را قبـل از رسـیدن بـه مقدار حـداکثر خـود محـدود نماینـد بـه طـوری کـه توسـط کلیدهای قدرت موجود قابل قطـع باشـند. ایـن تجهیـزات در حالت عادی، مقاومت کمی در برابر عبور جریان از خود نشان می‌دهند ولی پس از وقوع اتـصال کوتـاه و در لحظـات اولیـه شروع جریان، مقاومت آنها یکباره بزرگ شده و از بـالا رفـتن جریان اتصال کوتاه جلوگیری می‌کنند. این تجهیـزات پـس از هر بار عملکرد باید قابل بازیـابی بـوده و در حالـت مانـدگار

سیستم، باعث ایجاد اضافه ولتاژ و یا تزریق هارمونیک به سیستم نگردند.

تقریباً همه محدودسازهای جریان اتصال کوتاه موجود بر اساس وارد نمودن یک امپدانس بزرگ به طور سری با سیستم عمل می‌نمایند و تنها اختلاف موجود، روش ایجاد و واردنمودن این امپدانس بزرگ به سیستم است.

روشهای محدود کردن جریان خطا را می‌توان به چهار گروه اصلی ذیل دسته‌بندی نمود:

- **محدودسازی امپدانسی با کلید مکانیکی:** در محدودساز امپدانسی بوسیله یک کلید مکانیکی با عملکرد بسیار سریع در موقع خطا یک امپدانس (مقاومت یا سلف) جهت کاهش جریان به صورت سری وارد مدار می‌شود. کلید مکانیکی مورد استفاده از لحاظ سرعت عمل طوری طراحی شده است که قبل از رسیدن جریان خطا به اولین پیک خود امپدانس وارد می‌شود و دامنه جریان خطا را محدود می‌نماید. در انواع پیشرفته این محدودسازها، به همراه باز شدن کلید قدرت، مسیری خاص برای برقراری قوس الکتریکی و انحراف آن به سمت یک مقاومت محدودساز جریان خطا طراحی و پیش‌بینی شده است. این محدودسازها به تشخیص دهنده خطا نیاز داشته و به علت وجود کلیدهای مکانیکی که نمی‌توانند خیلی سریع عمل کنند، اغلب در محدود کردن جریان قبل از اولین قله آن ناموفق هستند.
- **محدودکننده جریان نوع فیوز:** در این نوع محدودکننده‌ها به محض اتصال کوتاه در شبکه عنصر فیوزی در مدت زمان معین ذوب شده و با قطع خود محدودساز را وارد مدار می‌نماید. به خاطر اینکه فیوزهای مورد استفاده غیر قابل بازیابی بوده و تعویض آن بعد از وقوع خطا ضروری است، همینطور طولانی و متغیربودن زمان عملکرد و در نتیجه قابلیت اطمینان پایین آنها، محدودسازهای فیوزی کمتر کاربرد دارند.
- **محدودکننده‌های امپدانسی و مدار تشدید با سوئیچ تریستوری:** در این محدودکننده‌ها عموماً از یک سلف و خازن به صورتهای سری، موازی و یا ترکیبی از آنها استفاده می‌گردد. شکل قرارگیری این عناصر به گونه‌ای است که در حالت عادی سیستم، امپدانس خیلی کمی را دارا می‌باشند و در هنگام بروز خطا، امپدانس تشدید با سوئیچ تریستوری وارد مدار می‌شود. برای عملکرد صحیح مدار، لازم است ابتدا خطا توسط آشکارساز تشخیص داده شود و بعد گیت تریستورها آتش شوند که منجر به کندی عملکرد محدودساز خواهد شد. به علاوه مدارهای تریستوری معمولاً باعث تزریق هارمونیکهای زیادی به سیستم می‌شوند که زیانبار بوده و استفاده از آنها را با محدودیت مواجه ساخته است.



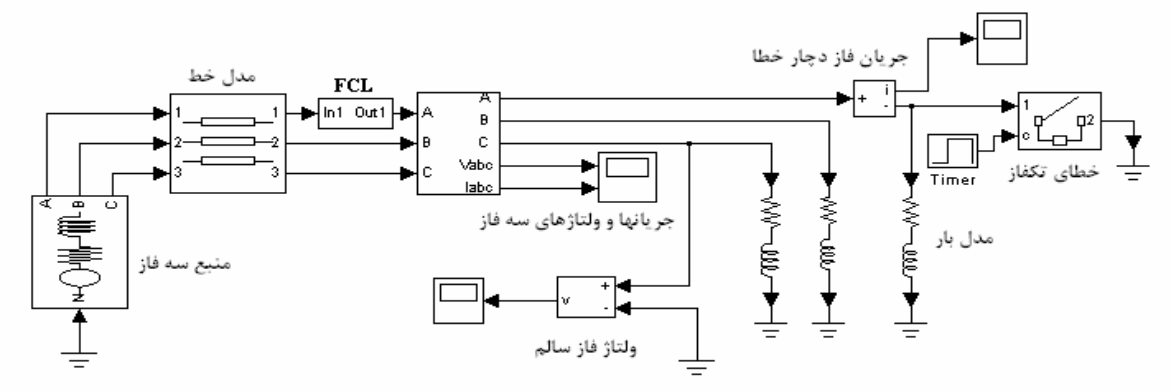
شکل (۱): یک محدودکننده مدار تشدید با سوئیچ تریستوری

- **محدودکننده‌های ابررسانا:** این نوع محدودکننده جریان در شرایط بهره‌برداری عادی سیستم شامل یک سیم‌پیچ است که در دمای حدود ۱۸۰- درجه سانتیگراد نگهداری می‌شود. سیم‌پیچ ابررسانا در دمای مورد اشاره دارای خاصیت ابررسانایی بوده و مقاومت و افت ولتاژ بسیار کمی را باعث می‌شود. ولی به محض وقوع اتصال کوتاه و افزایش جریان از یک حد معینی که جریان بحرانی نامیده می‌شود، سیم‌پیچ مربوط گرم شده و بعد از حالت گذرا مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهد و به همین دلیل جریان خطا کاهش می‌یابد. عمل فوق در زمان کوتاهی انجام می‌پذیرد و نیاز به سیستم کشف خطا نمی‌باشد و می‌توان اظهار کرد که آشکار کننده خطا در این محدودسازها جریان بحرانی، خود سیم‌پیچی ابررسانا می‌باشد. محدودکننده‌های ابررسانا هر چند از سرعت خوبی برخوردار هستند اما برای بازیابی حالت ابررسانا و وصل مجدد به زمان نسبتاً زیادی نیازمندند. با ارائه محدودسازهای نوع عبور شار (Flux Lock) که به جای عبور جریان بحرانی، با افزایش عبور شار مغناطیسی به شرایط محدودسازی می‌رسند و در نتیجه افزایش گرمایی اتفاق نخواهد افتاد، مشکل سرعت بازیابی محدودکننده‌های جریان

تا حدود زیادی مرتفع گردیده است. البته هزینه ساخت محدودسازهای نوع عبور شار با توجه به نیاز به حجم بالای مواد ابررسانا افزایش خواهد یافت. مزایای مهم استفاده از محدودسازهای نوع ابررسانایی را می‌توان به شرح ذیل بیان نمود.

- **کاهش خسارات ناشی از اتصال کوتاه در شبکه:** با وقوع اتصال کوتاه در شبکه، اضافه جریان ایجاد شده تا زمان عملکرد رله‌ها و قطع مدار توسط کلیدهای قدرت که گاهی تا چند سیکل طول می‌کشد، ادامه خواهد یافت. وجود چنین جریانی حتی در زمان بسیار کوتاه می‌تواند منجر به ایراد خسارات به تجهیزات موجود در شبکه شود. استفاده از محدودسازها که با افزایش جریان خطا از مقدار مشخصی مقابله می‌کنند، خسارتهای احتمالی را به حداقل می‌رساند.
- **کاهش هزینه کلیدهای قدرت و فیوزها:** جریان خطا بر روی ترانسفورماتورهای متداول می‌تواند ۱۰ تا ۲۰ برابر جریان حالت ماندگار (نامی) ترانسفورماتور باشد. یک راه حل برای مقابله با افزایش جریان خطا استفاده از کلیدهای قدرت با سرعت بالاتر و فیوزهای قویتر است که سرمایه‌گذاری اولیه را افزایش داده صرفه اقتصادی نخواهد داشت. اما با طراحی یک محدودساز ابررسانائی می توان مقدار جریان خطا را به ۳ تا ۵ برابر میزان جریان نامی تجهیزات محدود کرد. همچنین این نوع محدودسازهای جریان، تلفات انرژی ذخیره شده را کاهش داده و انعطاف پذیری بهتری را در استفاده از کلیدهای قدرت و فیوزهای با سرعت پایین‌تر فراهم می نمایند .
- **تعویق سرمایه‌گذاری برای توسعه سیستم:** با توجه به نیاز مداوم به توسعه شبکه لازم است ظرفیت وسایل موجود شبکه‌های برق به منظور جوابگوئی به افزایش تقاضای برق افزایش داده شود. با افزایش ظرفیت شبکه، سطح اتصال کوتاه نیز افزایش یافته و استفاده از تجهیزات سریعتر و با قدرت تحمل جریانهای بالاتر ضروری خواهد بود. وجود محدودساز جریان در شبکه می‌تواند مانع از افزایش سطح اتصال کوتاه شده و نیاز به افزایش پر هزینه و اساسی ظرفیت تجهیزات در پست نخواهد بود. لذا میزان سرمایه‌گذاری برای توسعه شبکه کاهش یافته و یا به تعویق می‌افتد. محدودسازهای ابررسانائی جریان می توانند با اندازه های مناسب برای کلیدهای قدرت پستهای مرسوم ساخته شده و در آرایش سیستم الکتریکی موجود نیز نصب گردند.
- **افزایش قابلیت اطمینان در شبکه:** با توجه به محدودسازی جریان خطا از ۱۰ تا ۲۰ برابر نامی به ۳ تا ۵ برابر، احتمال خروج خطوط کاهش یافته و قابلیت اطمینان سیستم افزایش می‌یابد.
- **افزایش کیفیت توان و کاهش تلفات در سیستم قدرت:** وقوع اتصال کوتاه متناسب با محل وقوع می‌تواند منجر به بروز پدیده‌هایی مانند کاهش دینامیکی ولتاژ (Sag)، افزایش دینامیکی ولتاژ (Swell)، وقفه، خروج خطوط انتقال، تغییرات فرکانس و یا حتی خروج زنجیره‌ای نیروگاهها و در نهایت فروپاشی شبکه شود. با استفاده از محدودسازها، جریان اتصال کوتاه در سیستم کنترل شده و شاخصهای کیفیت توان بهبود می‌یابد. از طرفی راکتورهای خط و محدودسازهای موجود جریان خطا از نوع مسی می‌توانند با افزودن راکتانس به سیستم سبب ناپایداری ولتاژ در سیستم الکتریکی شوند و برای برقراری توازن عناصر راکتیو لازم است خازن به مدار اضافه گردد. محدودسازهای ساخته شده از ابررسانای نسل دوم که کاملاً مقاومتی باشند می‌توانند جایگزین راکتورهای خط انتقال شده و با افت ولتاژ ناشی از راکتورها در خطوط و تلفات ناشی از آنها در شبکه مقابله می‌شود. به علاوه هیچ نیازی به تصحیح خازنی نیست و اینگونه محدودسازها در شرایط عادی سیستم، غیر فعال باقی می مانند. علاوه بر موارد گفته شده، محدودسازهای ابررسانایی در مقایسه با انواع تریستوری و اینورتری، نیاز به آشکارسازی خطا نداشته و منجر به تزریق هارمونیک به شبکه نیز نمی‌شوند.

سیم پیچهای ابررسانا با و یا بدون هسته آهنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این محدودسازهای جریان خطا، سه وظیفه عمده محدودکننده‌های جریان یعنی تشخیص خطا، منحرف کردن جریان خطا و محدودسازی آن توسط سیم پیچ ابررسانا انجام می‌گیرد.



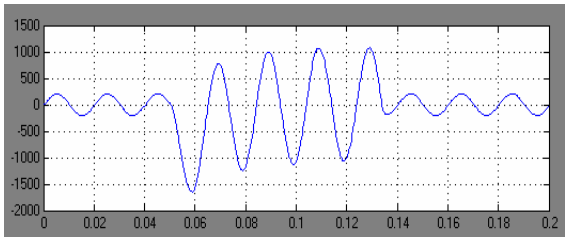
شکل (۲): مدار معادل یک سیستم توزیع به همراه محدودکننده جریان خطا

۴. شبیه سازی

در این بخش با استفاده از نرم افزار MATLAB چگونگی بهبود افزایش دینامیکی ولتاژ را توسط محدودکننده جریان خطا را تحلیل می‌کنیم. محدودکننده‌ای که در این شبیه‌سازی استفاده شده است کاملاً ایده‌آل است یعنی در حالت نرمال مقاومت صفر دارد و در حالت بروز خطا مقاومت بالایی را وارد مدار می‌کند.

شکل (۲) مدار معادل یک سیستم توزیع سه فاز را در نرم‌افزار MATLAB نشان می‌دهد. برای ایجاد افزایش دینامیکی ولتاژ یک خطای تکفاز در سیستم ایجاد شده است.

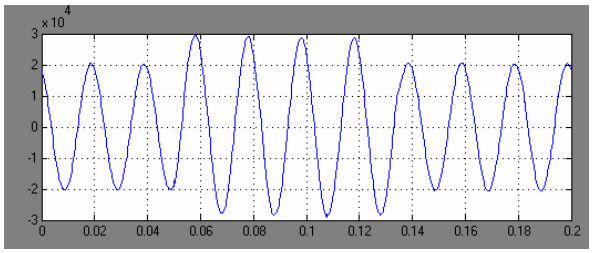
ابتدا حالتی را مورد مطالعه قرار می‌دهیم که محدودکننده جریان خطا در سیستم وجود ندارد.خطا در لحظه ۰/۰۵ S در سیستم ایجاد می‌شود. شکل (۳) شکل موج جریان فازی که در آن خطا رخ داده است را نشان می‌دهد همانگونه که در شکل نشان داده شده است جریان بار در حالت عادی ۲۰۰A و در حالت بروز خطا به ۱۰۰۰A می‌رسد.



شکل (۳): جریان فاز دچار خطا بدون محدودکننده جریان خطا

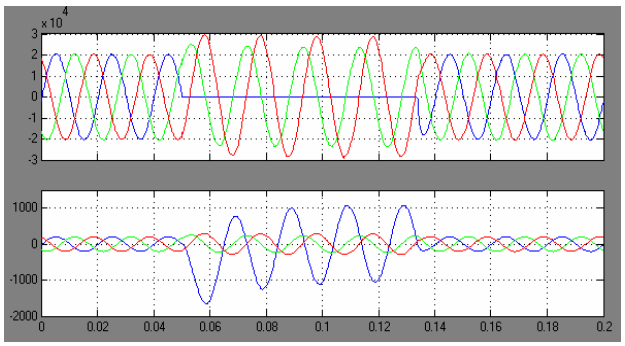
همانگونه که در بالا شرح داده شد این جریان خطای بالا باعث ایجاد افزایش دینامیکی ولتاژ در فازهای سالم می‌شود.

شکل (۴) منحنی ولتاژ در یکی از فازهای سالم را نشان می‌دهد بطوری که از این شکل مشخص است ولتاژ قبل از بروز خطا ۲۰KV و در حالت خطا به مقدار ۳۰KV افزایش می‌یابد.



شکل (۴): منحنی ولتاژ در یکی از فازهای سالم

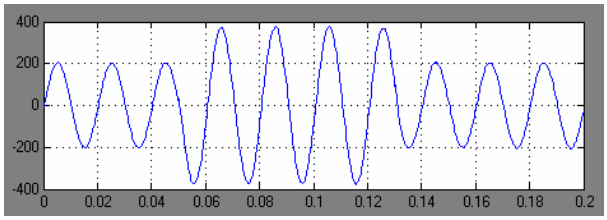
شکل (۵) منحنی‌های جریان و ولتاژ در هر سه‌فاز سیستم را در حالت بروز خطا و قبل از آن را نشان می‌دهد. در این سیستم محدودکننده جریان خطا نصب نشده است و چنانکه مشخص است ولتاژ در فاز دچار خطا برابر صفر است و جریان این فاز افزایش می‌یابد.



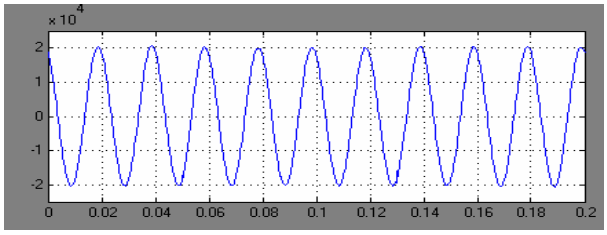
شکل (۵): جریان و ولتاژ هر سه‌فاز سیستم بدون محدودکننده جریان خطا

حال یک محدودکننده جریان خطا را بصورت سری با فاز دچار خطا در سیستم قرار می‌دهیم. این محدودکننده دقیقاً در لحظه وقوع خطا مقاومت بالایی را وارد مدار می‌کند و چون سری با سیستم قرار دارد جریان خطا را محدود می‌کند و با محدود شدن جریان، افزایش دینامیکی ولتاژ تصحیح می‌شود.

شکل (۶) منحنی‌های جریان در فاز دچار خطا و ولتاژ در یکی از فازهای سالم را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشخص است جریان خطا از مقدار ۱۰۰۰A به مقدار ۴۰۰A محدود می‌شود و ضریب محدودسازی برابر ۰/۴ است. با توجه به محدودسازی جریان بطوری که در شکل مشخص است افزایش دینامیکی ولتاژ تقریباً رفع می‌شود و در کار سیستم اختلال ایجاد نمی‌کند.



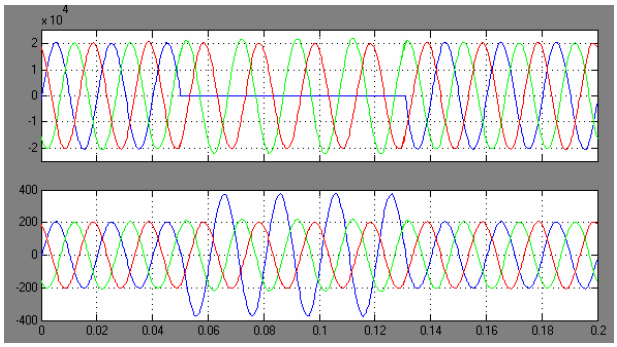
الف



ب

شکل (۶): شکل موجهای الف) جریان در فاز دچار خطا به همراه محدودکننده جریان خطا ب) ولتاژ یکی از فازهای سالم در حالت وجود محدودکننده جریان خطا

شکل (۷) منحنی‌های جریان و ولتاژ در هر سه‌فاز سیستم را در حالت بروز خطا و قبل از آن را نشان می‌دهد. در این سیستم محدودکننده جریان خطا نصب شده است و بطوری که مشخص است ولتاژ در فاز دچار خطا برابر صفر است و جریان در فاز دچار خطا محدود شده است و ولتاژهای فازهای سالم نیز تصحیح شده است و افزایش دینامیکی ولتاژ رفع شده است.



شکل (۷): جریان و ولتاژ سه‌فاز سیستم به همراه محدودساز جریان خطا

۵. نتیجه‌گیری

بررسیهای انجام شده در بالا نشان داد که در زمان وقوع یک خطای تکفاز در فازهای سالم سیستم توزیع ولتاژ بالاتر رفته و مسئله افزایش دینامیکی ولتاژ رخ می‌دهد.

به عنوان یک راه حل برای بهبود مسئله افزایش دینامیکی ولتاژ قرار دادن یک محدودکننده جریان خطا در سیستم توزیع پیشنهاد شد. محدودکننده مورد استفاده در این شبیه‌سازیها کاملاً ایده‌آل بوده و به محض وقوع خطا امپدانس بالایی را وارد مدار می‌کند. شبیه‌سازیهای کامپیوتری بر روی یک سیستم نمونه و در حالت خطای تکفاز انجام شد. این شبیه‌سازیها نشان داد که قرار دادن محدودکننده جریان خطا باعث کاهش میزان جریان در فاز دچار خطا شده و به دنبال آن سبب بهبود افزایش دینامیکی ولتاژ نیز می‌شود.

مراجع

[1] J. Douglas, “Power Quality Solutions” *IEEE Power Engineering Review*, March 1994.

[2] J. K. Phipps, J. P. Nelson and P. K. Sen, “Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems” *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 30, No. 2, March/April 1994.

[3] H. Awad, F. Blaabjerg, “Mitigation of Voltage Swells by Static Series Compensator”, *35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Aochen, Germany*, 2004, pp. 3505-3511.

[4] R. P. Burgos, E. P. Wiechmann, “Extended Voltage Swell Ride-Through Capability for PWM Voltage-Source Rectifiers”, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 52, Issue 4, pp. 1086 – 1098, Aug. 2005
[5] C. Sharmeela, G. Uma, M. R. Mohan, “Multi-level distribution STATCOM for voltage sag and swell reduction”, *Power Engineering Society General Meeting*, 12-16 June 2005, pp. 278 - 282, [6] J. Perez, V. Cardenas, H. Miranda, “Optimization of the four step switching sequence used by a single-phase AC-AC converter to compensate voltage sags and swells”, *9th IEEE International Power Electronics Congress, CIEP 2004*. 17-22 Oct. 2004, pp. 212-217.
[7] S. M. Woo, D. W. Kang, W. C. Lee. D. S. Hyun, “The distribution STATCOM for reducing the effect of voltage sag and swell Industrial Electronics Society” *The 27th Annual Conference of the IEEE IECON '01*,Volume 2, 29 Nov.-2 Dec. 2001 pp. 1132 – 1137.
[8] R. Cao, J. Zhao, W. Shi, P. Jiang, G. Tang, “Series power quality compensator for voltage sags, swells, harmonics and unbalance” *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES*, Vol 1, 28Oct.-2 Nov. 2001 pp. 543 – 547.
[9] S. S. Choi, D. Li, and D. Mahinda Vilathgamuwa, “A Generalized Voltage Compensation Strategy for Mitigating the Impacts of Voltage Sags/Swells”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 20, No. 3, July 2005
[10] P. G. Slade *et al.*, “The utility requirements for a distribution fault current limiter,” *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 7, no. 2, pp. 507–515, April 1992.
[11] B. Gromoll, G. Ries, W. Schmidt, H. P. Kramer, P. Kummeth, H.-W. Neumüller, and S. Fischer, “Resistive current limiters with YBCO films,” *IEEE Trans. Appl. Superconductor*, vol. 7, pp. 828–831, June 1997.
[12] S. Semperger and I. Vajda "Testing the Operation of High Temperature Superconducting Fault Current Limiter in a Real System" Periodica Polytechnica Ser. El. Eng. Vol. 45, No. 3-4, pp. 265-276, 2001.
[13] L. Ye, L. Lin, and K. P. Juengst "Application Studies of Superconducting Fault Current Limiters in Electric Power Systems" *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, Vol. 12, No. 1, March 2002, pp. 900-903.
[14] M. M. A. Salama, H. Temraz, A. Y. Chikhani, M. A. Bayoumi “Fault Current Limiter with Thyristor Controlled Impedance (FCL-TCI)” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, pp. 1518-1528, July 1993.
[15] T. Yazawa, H. Koyama, K. Tasaki, T. Kuriyama, S. Nomura, T. Ohkuma, N. Hobara, Y. Takahashi, and K. Inoue, “66 kV-class high-T_c superconducting fault current limiter magnet,” *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, Vol. 13, No. 2, pp. 2040–2043, June 2003.
[16] F. Tosato and S. Quaia "Reducing Voltage Sags Through Fault Current Limitation" *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 16, No. 1, pp. 12-17, January 2001.
[17] M. Tsuda, Y. Mitani, K. Tsuji, and K. Kakihana "Application of Resistor Based Superconducting Fault Current Limiter to Enhancement of Power System Transient Stability" *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, Vol. 11, No. 1, March 2001, pp. 2122-2126.
[18] M. M. R. Ahmed, G. A. Putrus, L. Ran "Power Quality Improvement Using a Solid State Fault Current Limiter" *IEEE Conferences* 2002.