

محل بهینه نصب محدودکننده جریان خطا در پستهای یک و نیم کلیدی از دید پایداری شبکه

12-F-CAP-2173

فرشته تازی وردی، عارف درودی

دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شاهد

ایران

محدود کننده جریان خطا، پایداری گذرا، پستهای فشار قوی

چکیده

در این مقاله برای مکانهای نصب و پارامترهای متفاوت FCL های اندوکتیو مورد استفاده در شبکه (شامل زمان بازیابی حالت اولیه بعد از خطا و امپدانس FCL) پایداری گذرا تحلیل می شود. از آنجا که اکثر پستهای شبکه ایران دارای آرایش یک و نیم بریکری هستند، برای مطالعه یک مدل ساده با همین آرایش که دارای FCL های اندوکتیو می باشد در نظر گرفته ایم. در این مقاله نتایج شبیه سازی برای دو نمونه مطالعاتی ارائه می شود. این شبیه سازی ها در نرم افزار Digsilent Power Factory انجام شده است. در یک حالت FCL ها بین ترانسهای واحد نیروگاهی و پست نصب شده اند و در حالت دیگر روی خطوط متصل به پست واقع شده اند. علاوه بر محل نصب در هر دو حالت اثر زمان بازیابی گذرا روی بهبود یا کاهش پایداری گذرا نیز ارزیابی می شود. طراحی محدود کننده ها برای هر یک از حالات مطالعاتی به گونه ای صورت گرفته است که با فعال شدن محدود کننده ها در هر دو حالت به یک سطح اتصال کوتاه هدف برای پست برسیم. در نهایت با توجه به پایداری گذرا و قیمت

FCL (که به پارامترهای طراحی آن وابسته است) مکان بهینه نصب FCL پیشنهاد می شود.

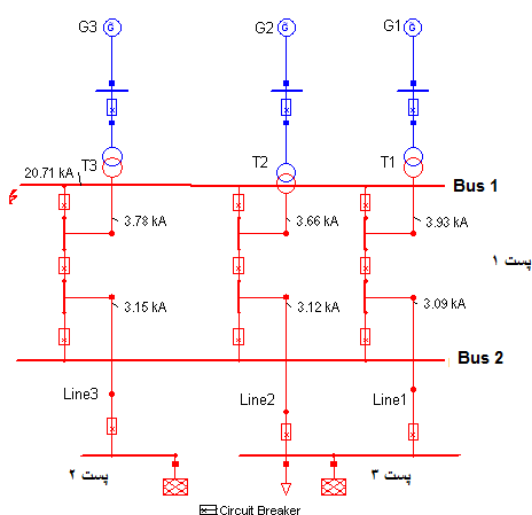
۱- مقدمه

یکی از مناسبترین روشها جهت مقابله با جریانهای اتصال کوتاه شدید در شبکه، استفاده از محدودکننده های خطا (FCL) می باشد [۱]. با توسعه روز افزون شبکه های قدرت مقدار جریان اتصال کوتاه در این شبکه ها افزایش یافته و در برخی نقاط حتی از قدرت قطع کلیدهای موجود نیز فراتر رفته است. الزامات محدود کننده های جریان خطا با توجه به تاثیر آنها بر شبکه را می توان به دو بخش محدود سازی جریان خطا و پایداری شبکه تقسیم نمود [۲-۵]. به طور کلی رفتار سیستم در مقابل خطای اتصال کوتاه را با معیار ظرفیت اتصال کوتاه که رابطه عکس با امپدانس اتصال کوتاه دارد ارزیابی می کنند. ظرفیت اتصال کوتاه بالا در شرایط عملکرد نرمال سیستم، به دلیل کاهش افت ولتاژ، باعث بهبود پایداری حالت گذرا و مانای سیستم می شود. در حالیکه تحت شرایط اتصال کوتاه ظرفیت اتصال کوتاه پایین مطلوب است. چرا

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

نسبت به نوع مقاومتی آن در اینست که این نوع محدود کننده انرژی ناشی از اتصال کوتاه را در طول یک دوره در میدان مغناطیسی خود ذخیره کرده و در نیم سیکل دیگر مجدداً به شبکه باز می‌گردانند در حالی که محدود کننده مقاومتی این انرژی را در خود تلف میکند [۱۳].

در این مقاله و بدون از دست رفتن جامعیت مسئله از محدود کننده جریان خطا از نوع اندوکتیو استفاده شده است. برای شبیه‌سازی این نوع FCL می‌توان از مدار معادل ترانسفورماتوری دو سیم پیچه که در قسمت ثانویه آن مقاومت غیر خطی وجود دارد استفاده کرد. از آنجاییکه تفاوت بین گشتاور الکترومغناطیسی وارد بر روتور ژنراتورها برای مدل راکتور خطی نسبت به مدل محدود کننده غیر خطی به خصوص با کاهش امپدانس محدود کننده و افزایش تعداد خطوط موازی قابل ملاحظه نیست می‌توان از مدل ساده شده خطی محدود کننده استفاده نمود [۱۳]. پست ۲۳۰ کیلوولت مورد مطالعه همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد یک پست یک و نیم کلیدی بوده که شامل سه واحد و سه خط انتقال است (کلاً سه بی در پست موجود است).



شکل ۱: پست مورد مطالعه

یکی از خطوطی که قبلاً از پست ۲ به پست ۳ کشیده شده بود در پست ۳ ورود - خروج شده است. خط دیگر نیز

که تنش‌های حرارتی و مکانیکی وارد به تجهیزات را کاهش می‌دهد. بنابراین باید بین دو حالت مذکور شرایط بهینه را برای سیستم فراهم نمود. استفاده از محدود کننده های جریان خطا، راه حل بهینه‌ای به این منظور است. چرا که با تغییر از حالت امپدانس پایین به امپدانس بالا در حالت خطا علاوه بر محدود کردن پیک جریان در این حالت، به دلیل افت ولتاژ پایین در حالت عادی پایداری سیستم را تهدید نمی‌کند.

تاکنون مقالات متعددی در خصوص تاثیر FCL روی پایداری گذرای شبکه منتشر شده است [۶-۱۱]. با این حال در خصوص تاثیر مکان قرارگیری FCL در پستهای فشار قوی و همچنین تاثیر پارامترهایی نظیر زمان بازگشت از حالت امپدانس بالا به امپدانس پایین (زمان گذر) FCL روی پایداری شبکه کمتر بحث شده است. در این مقاله به تفصیل تاثیر محل نصب و پارامترهای محدود کننده جریان خطا روی پایداری گذرای شبکه مورد بحث قرار می‌گیرد. از آنجا که آرایش قسمت عمده‌ای از پستهای فشار قوی ایران از نوع یک و نیم کلیدی است، ابتدا محل بهینه قرارگیری FCL در اینگونه پستها از دید پایداری مورد بررسی قرار گرفته و سپس تاثیر پارامترهای FCL نیز روی پایداری گذرای شبکه مطالعه خواهد شد.

۲- مدل‌سازی محدود کننده جریان خطا

می‌توان محدود کننده‌ها را بر حسب ماهیت آنها به دو مدل اصلی زیر تقسیم بندی نمود:

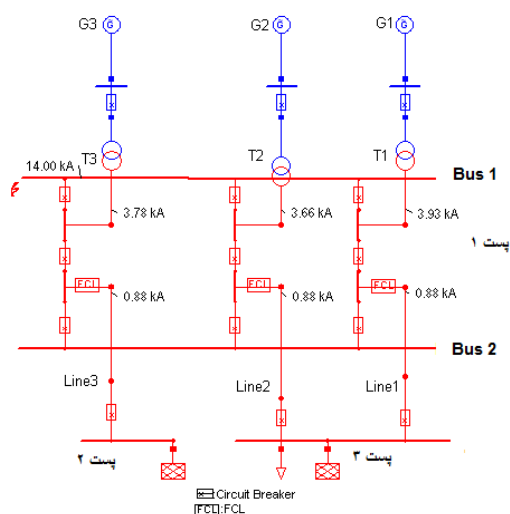
- محدود کننده مقاومتی
- محدود کننده القایی

در محدود کننده مقاومتی از یک المان مقاومت غیرخطی استفاده می‌شود، در حالی که اساس عملکرد محدود کننده القایی مبتنی بر خاصیت مغناطیسی ترانسفورمری می‌باشد. محدود کننده مقاومتی به نسبت دیگر انواع دارای ساختار ساده‌تر، اندازه کوچکتر و در نتیجه قیمت پایینتری هستند [۷]. مزیت محدود کننده‌های القایی

گرفته و در حالت دوم این تجهیزات در ورودی فیدر واحدها به پست نصب میگردند.

۴- نصب محدودکننده در خطوط ورودی به پست

در این بخش محدود کننده ها بر روی هر سه فیدر خط قرار می گیرند. شکل ۲ محاسبات اتصال کوتاه را برای این حالت و با هدف رسیدن به جریان اتصال کوتاه ۱۴ کیلو آمپر نشان می دهد. اتصال کوتاه ۳ فاز فرض شده و در یکی از شینه های پست مورد مطالعه رخ می دهد. محاسبات اتصال کوتاه نشان می دهد که امپدانس هر یک از FCL ها برای کاهش سطح اتصال کوتاه به میزان ۱۴ کیلو آمپر برابر ۱۲۰ اهم خواهد بود که محدودکننده ها بایستی بر همین مبنا طراحی گردند.



شکل ۲: پست مورد مطالعه برای حالتی که FCL ها روی خط قرار گرفته اند

۴-۱ تحلیل پایداری

در ادامه، برای بررسی کیفی تاثیر محدود کننده ها بر روی پایداری سیستم از معیار سطوح معادل و برای بررسی تاثیر کمی از شبیه سازی استفاده شده است.

مستقیماً پست مذکور را به پست ۲ متصل می سازد. مشخصات واحدها و خطوط در پیوست الف آمده است.

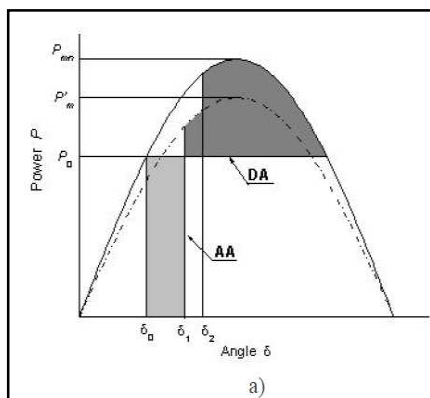
۳- مکان مناسب نصب محدود کننده در پستهای فشار قوی

در پستهای فشارقوی با آرایشهای متفاوت به صورت کلی میتوان مکان نصب FCL را در مکانهای زیر خلاصه نمود:
الف) نصب محدود کننده در بی باس کوپلر
ب) نصب محدودکننده در محل ورودی فیدر ترانس به پست
ج) نصب محدودکننده در محل اتصالات باسبار (باس سکشن)

د) نصب محدود کننده در خطوط ورودی به پست
محل نصب FCL را میتوان با توجه به میزان مطلوب جریان اتصال کوتاه بدست آورد. مطالعات جامعی در این خصوص باید انجام گیرد. فاکتورهای موثر در این خصوص هزینه، امکان نصب از دید اجرایی و همچنین مطالعات پایداری شبکه است. با توجه به آرایش ۱.۵ کلیدی مذکور، امکان نصب محدود کننده در موارد ب و ج وجود ندارد. لذا در ادامه تنها موارد الف و د مورد بررسی قرار می گیرند.

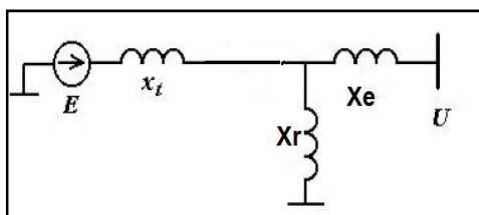
قبل از نصب FCL، مطالعات اتصال کوتاه روی پست مذکور انجام گرفته که نتایج آن در شکل ۱ آمده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود سطح اتصال کوتاه پست مذکور بدون نصب محدود کننده ۲۰ کیلو آمپر است (اتصال کوتاه در یکی از شینه ها به صورت سه فاز فرض شده است). میزان جریانهای تزریقی از هر یک از واحدها و خطوط نیز در شکل آمده است.

در این مقاله فرض شده است که هدف اصلی کاهش سطح اتصال کوتاه به میزان ۱۴ کیلو آمپر باشد و برای رسیدن به این هدف دو محل نصب مورد مطالعه قرار میگیرد. ابتدا FCL ها در ورودی خطوط به پست قرار



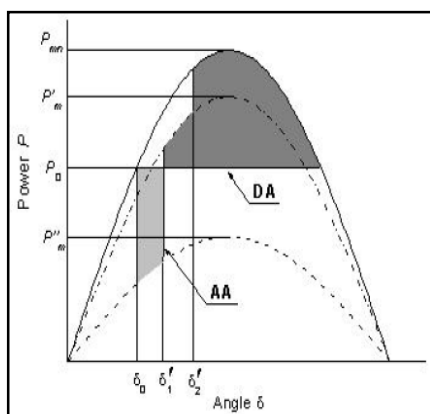
شکل ۴: منحنی توان-زاویه برای حالت بدون محدود کننده

با توجه به این امر که با وقوع فالت سه فاز در نقطه A فقط محدود کننده خط معیوب فعال می شود. لذا در فاصله δ_0 تا δ_1 توان صفر نمی شود و برابر $P = P_m \sin(\delta)$ متناظر با امپدانس X'' واحد خواهد بود. امپدانس معادل کل با توجه به مدار معادل شکل ۵ محاسبه می شود، که در آن X_e برابر امپدانس معادل خطوط سالم می باشد.



شکل ۵: مدار معادل برای محاسبه امپدانس

منحنی توان-زاویه برای این حالت در شکل ۶ آمده است.

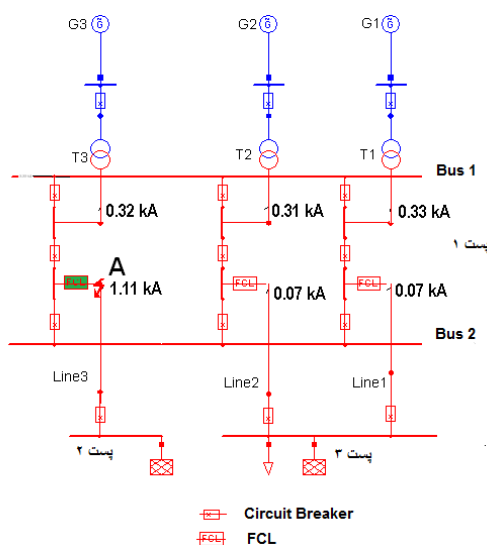


شکل ۶: منحنی توان-زاویه برای حالتی که محدودکننده ها روی خطوط قرار گرفته اند

۴-۱-۱ تاثیر محل نصب محدودکننده روی

پایداری سیستم

در این حالت هنگامی که FCL ها روی خطوط قرار گرفته اند پایداری گذرای سیستم برای خطای سه فاز در نقطه A (خط ۳) بررسی می شود. فرض می شود که کلیه کلیدهای پست دارای ریکلوزر هستند. شکل ۳ نتایج شبیه سازی را نشان می دهد.



شکل ۳: جریانهای تزریقی ناشی از اتصال کوتاه سه فاز در نقطه A با حضور محدود کننده ها روی خطوط

مطابق شکل ۳ مشاهده می شود که دامنه جریانهای تزریقی در اثر اتصال کوتاه سه فاز در نقطه A به گونه ای است که تنها FCL روی خط ۳ فعال می شود.

برای بررسی کیفی شکل ۴ را در نظر بگیرید. در این حالت فرض می کنیم سیستم بدون محدود کننده باشد و فالت متناظر با زاویه δ_0 روی دهد. توان اولیه قبل از وقوع فالت برابر $P = P_m \sin(\delta_0)$ است. تا زمانیکه بریکر برای رفع فالت باز شود $P = 0$ خواهد بود. در زاویه δ_1 بریکر باز می شود.

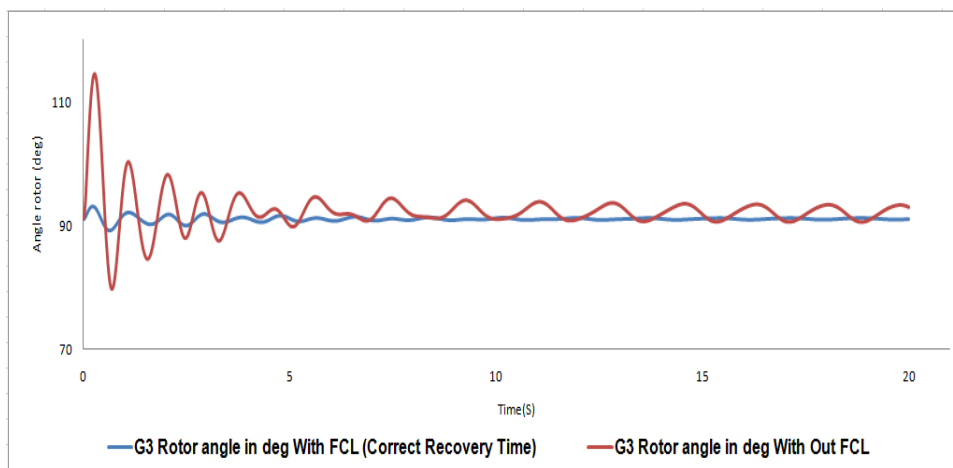
تا زمانیکه وصل مجدد رخ دهد توان برابر $P = P_m \sin(\delta)$ است، که در آن P_m' برابر EU/X' بوده و X' امپدانس معادل خطوط سالم است. بعد از باز بست مجدد بریکر در زاویه δ_2 توان برابر $P = P_m \sin(\delta)$ خواهد بود.

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

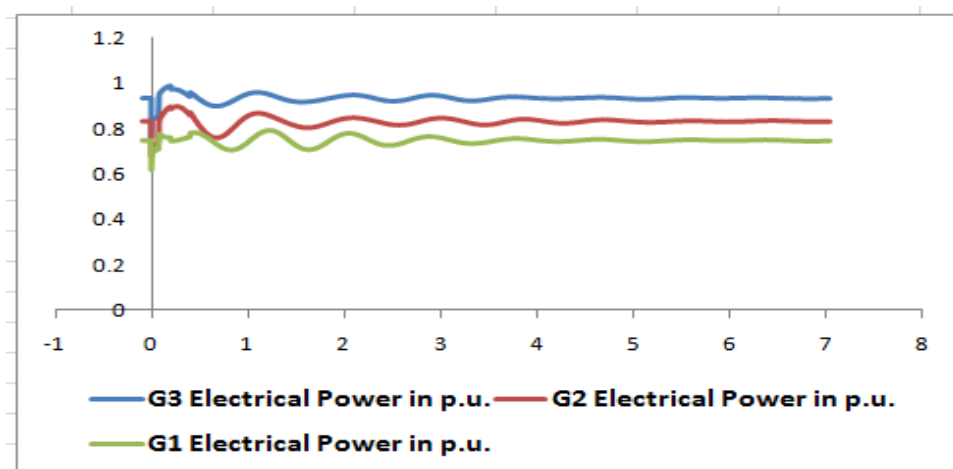
استفاده از محدودکننده تغییرات زاویه روتور را در اولین نوسان به میزان ۸۶٪ کاهش می‌دهد. همچنین در این حالت علاوه بر کاهش چشمگیر فراجش نوسانات زاویه روتور، نوسانات توان خروجی ژنراتورهای G1، G2 و G3 کاهش یافته است. لذا می‌توان نتیجه گرفت نصب محدودکننده در این حالت می‌تواند در افزایش پایداری گذرای سیستم موثر باشد. از مقایسه نوسانات توان الکتریکی خروجی واحدها مشاهده می‌شود که با بروز اغتشاش، فراجش اولین نوسان در واحد G3 نسبت به سایر واحدها بیشتر است. لذا در بخش‌های بعد، جهت بررسی پایداری گذرای سیستم رفتار این واحد را مورد مطالعه قرار خواهیم داد.

در مقایسه با حالت بدون محدودکننده مشاهده می‌شود که مساحت ناحیه شتاب دهنده کاهش پیدا کرده و این امر باعث می‌شود زوایای مربوط به باز و بسته شدن بریکر یعنی δ_1 و δ_2 کاهش پیدا کند و لذا پایداری افزایش می‌یابد.

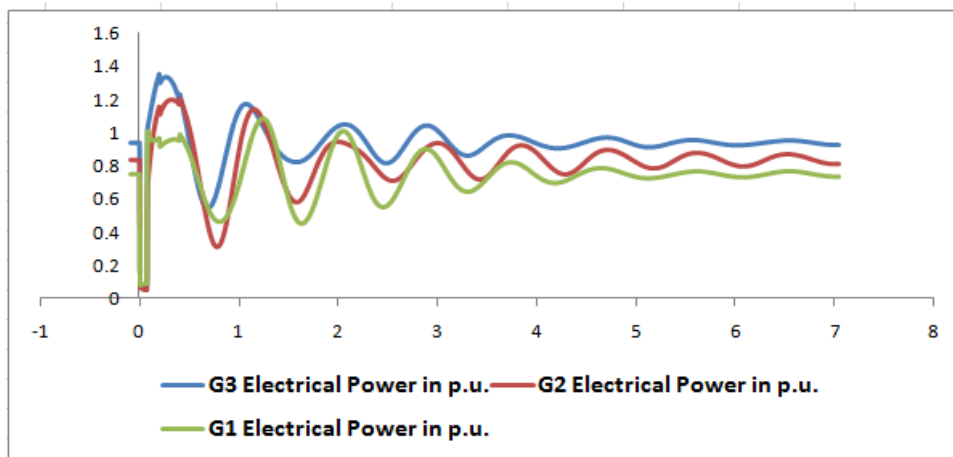
برای اثبات صحت این تحلیل کیفی، شبیه‌سازی مشابه در نرم‌افزار Digsilent انجام گرفته و نتایج در شکل‌های ۷ و ۸ و ۹ نشان داده شده است. در این شبیه‌سازی پایداری گذرا روی سیستم مورد مطالعه که در شکل ۳ آورده شده است، بررسی می‌شود. در ابتدا یک خطای اتصال کوتاه سه فاز روی خط ۳ و در فاصله ۳ کیلومتری پست ۳ ایجاد می‌شود. همانطور که در این اشکال مشاهده می‌شود



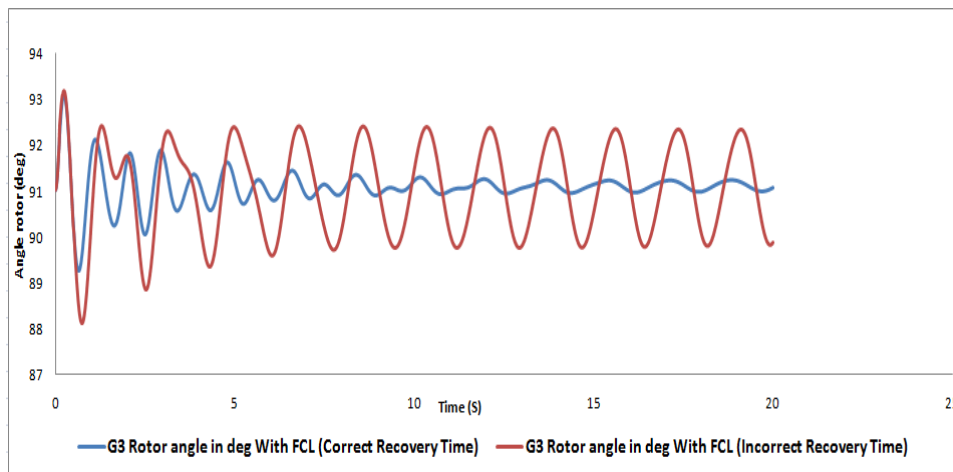
شکل ۷: تغییرات زاویه روتور ژنراتور G3 برای دو حالت با FCL و بدون FCL



شکل ۸: تغییرات توان الکتریکی خروجی ژنراتورهای G1, G2, G3 برای حالتی که FCL روی خط نصب شده است.



شکل ۹: تغییرات توان الکتریکی خروجی ژنراتورهای G1, G2, G3 برای حالت بدون FCL



شکل ۱۰: تغییرات زاویه روتور ژنراتور G3 برای دو حالت طراحی صحیح و نادرست پارامتر زمان گذر FCL

دهد. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که یکی از نکات مهم در طراحی FCL این است که زمان گذر این تجهیز باید کمتر از زمان بازبست مجدد در نظر گرفته شود. به طور کلی تاثیر FCL را میتوان با مینیمم کردن $K = x_{FCL}(t_R - t_P)$ تعیین کرد که در آن t_R زمان گذر محدود کننده، t_P زمان بازبست مجدد و x_{FCL} امپدانس محدود کننده است. مقایسه منحنی تغییرات زاویه روتور ژنراتور G3 برای این دو حالت نشان می دهد که در حالتی که زمان گذر محدود کننده بیشتر از زمان بازبست باشد مدت زمان میرایی نوسانات به شدت افزایش یافته و بنابراین پایداری گذرای سیستم کاهش می یابد.

۴-۱-۲ ارزیابی اثر پارامتر زمان گذر محدود

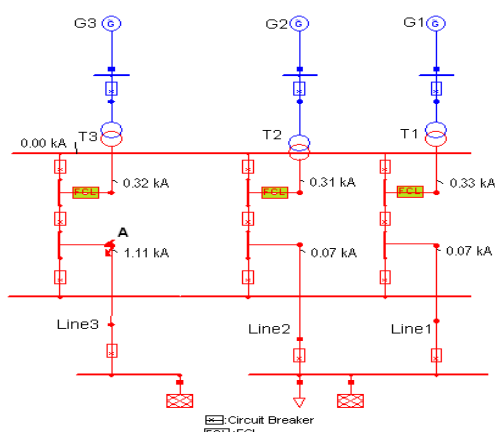
کننده روی پایداری سیستم

طبق معیار سطوح معادل اگر زمان بازگشت از حالت گذرا به نرمال محدودکننده (زمان گذر) کمتر از مقدار تنظیم زمانی ریکلوزر باشد، مساحت ناحیه کند شونده افزایش یافته و در نتیجه پایداری بهبود پیدا می کند و بالعکس در صورتی که محدودکننده بعد از باز بست بریکر به حالت نرمال برگردد، با توجه به باقی ماندن امپدانس در سیستم در زمان اتصال کوتاه و بالطبع با کاهش مساحت ناحیه کند شونده پایداری کاهش می یابد. شکل ۱۰ نتایج شبیه سازی را که مویده نکته فوق است نشان می-

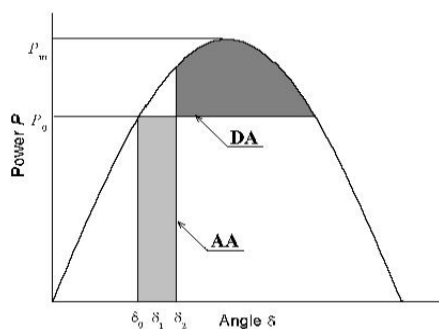
۵-۱ تحلیل پایداری

۵-۱-۱ اثر محل نصب محدود کننده

مشابه حالت قبل بررسی پایداری حالت گذرا برای نصب محدود کننده ها در محل ترانسهای واحد نیروگاهی، با در نظر گرفتن فالت سه فاز روی خط ۳ صورت میگیرد. در این حالت هر سه محدود کننده روی واحدها فعال می شوند. در طول فالت توان P برابر صفر است. تا قبل از بازپست بریکر، امپدانس معادل کل نسبت به حالتی که محدود کننده در نظر گرفته نشده است بیشتر می باشد. در نتیجه تا زمانیکه محدود کننده به حالت اولیه با امپدانس کم بر گردد توان P نسبت به حالت بدون محدود کننده کمتر خواهد بود. لذا نصب محدود کننده پایداری گذرای سیستم را کاهش می دهد. شکل ۱۲ جریانهای تزریقی در این حالت و شکلهای ۱۳ و ۱۴ تحلیل کیفی مسئله را نشان میدهند.



شکل ۱۲: جریانهای تزریقی ناشی از اتصال کوتاه سه فاز در نقطه A با حضور محدودکننده ها روی فیدرترانسها



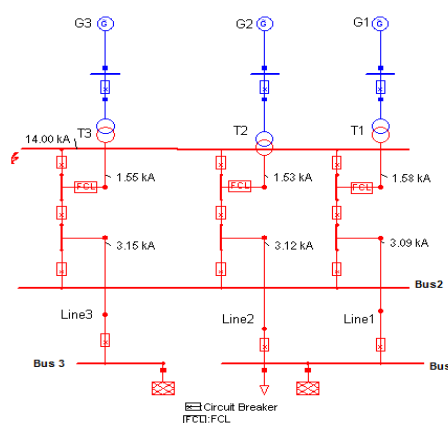
شکل ۱۴: منحنی توان زاویه بدون FCL

۵- نصب محدودکننده در فیدرهای ترانس

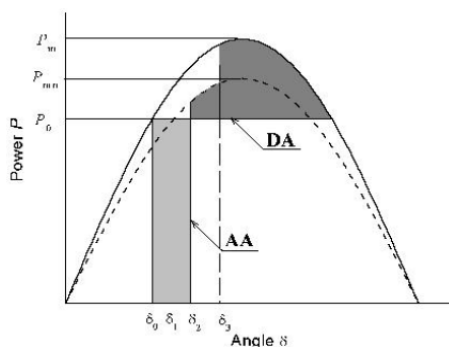
پست فشارقوی

در این حالت محدودکننده ها در فیدرهای ورودی واحدها به پست فشارقوی نصب می گردند. با توجه به سهم واحدها در جریان اتصال کوتاه روی باسبار، امپدانس مورد نیاز برای کاهش سطح اتصال کوتاه تا ۱۴ کیلو آمپر برابر ۵۵ اهم محاسبه شد. شکل ۱۱، جریانهای تزریقی ناشی از اتصال کوتاه سه فاز در این حالت را نشان می دهد.

همانطور که مشاهده می شود امپدانس بدست آمده در این حالت کوچکتر از حالتی است که محدودکننده ها در فیدرهای خط نصب شده بودند. لذا هزینه FCL در این حالت کمتر خواهد بود. در ادامه خواهیم دید که این معیار یعنی هزینه FCL نمی تواند به تنهایی تعیین کننده محل نصب محدودکننده باشد.

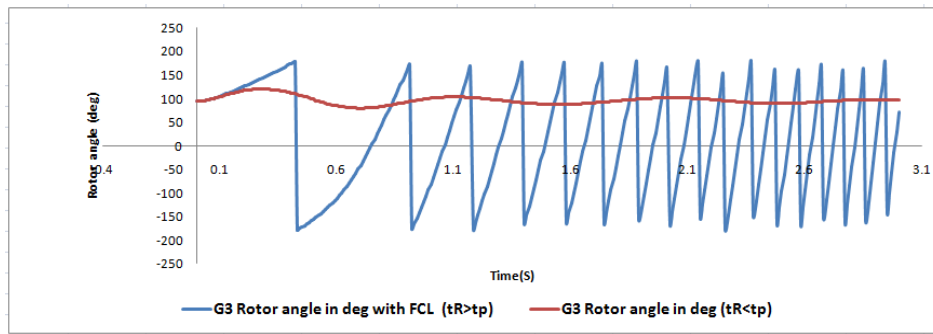


شکل ۱۱: جریانهای تزریقی برای حالتی که FCL ها در فیدرهای ترانس نصب شده اند

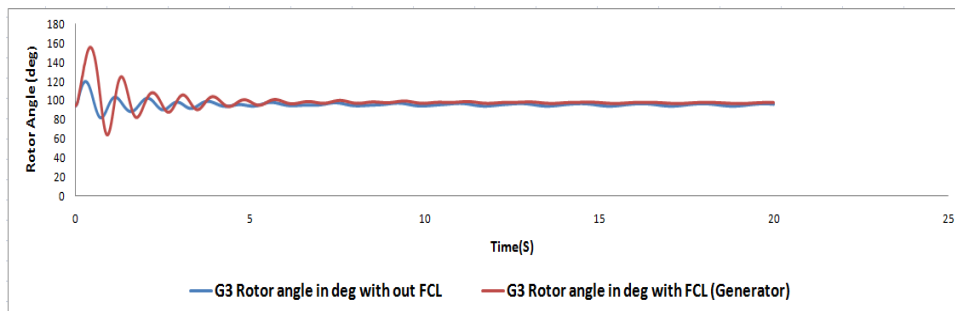


شکل ۱۳: منحنی توان زاویه با FCL

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۱۵: تغییرات زاویه روتور ژنراتور G3 برای دو حالت با FCL و بدون FCL روی فیدر ترانس



شکل ۱۶: تغییرات زاویه روتور برای دو حالت تنظیم درست و تنظیم نادرست زمان گذر FCL

حالتی که زمان گذر بزرگتر از زمان بازبست بریکر است توان P کمتر میشود، لذا ناپایداری گذرا در این حالت وخیم تر می باشد. نتایج شبیه سازی در شکل ۱۶ نشان می دهد که علاوه بر افزایش فراجش نوسانات زاویه روتور، میرایی نوسانات نیز کاهش یافته است.

۶- نتیجه گیری

از مشاهده نتایج شبیه سازی و تحلیلهای کیفی در حالات مختلف می توان به نتایج زیر رسید :

- اگرچه ممکن است که در بیشتر حالات نصب FCL روی فیدر ترانس یک پست یک و نیم کلید هزینه کمتری را نسبت به نصب روی فیدر خط به همراه داشته باشد اما این معیار به تنهایی نمی تواند برای انتخاب محل نصب مد نظر قرار گیرد و فاکتور پایداری سیستم نیز باید در نظر گرفته شود.

- نصب FCL روی خطوط پایداری گذرای سیستم را افزایش می دهد در حالیکه نصب محدود کننده روی فیدر ترانس پایداری را کاهش می دهد.

در این بخش فرضیات شبیه سازی مشابه حالت قبل به صورت اتصال کوتاه سه فاز روی خط ۳ و مدت زمان رفع خطا نیز ۷۵ میلی ثانیه می باشد. در این حالت زمان گذر محدود کننده را کمتر از زمان بازبست ریکلوزر در نظر گرفته ایم. مقایسه منحنی تغییرات زاویه روتور ژنراتور G3 نشان می دهد (شکل ۱۵) که با نصب محدود کننده روی فیدر ترانس ها نوسانات روتور، افزایش یافته است. بطوریکه فراجش اولین نوسان در این حالت ۳ برابر حالتی است که محدود کننده نصب نشده است. لذا نصب محدود کننده به طور سری با واحد نیروگاهی پایداری سیستم را حتی نسبت به حالتی که محدود کننده نداشتیم کاهش داده است.

۵-۱-۲ بررسی اثر پارامتر زمان گذر

برای بررسی اثر این پارامتر در این حالت زمان گذر محدود کننده را بزرگتر از زمان بازبست ریکلوزر در نظر گرفته ایم. پایداری گذرا در این حالت مستقل از پارامتر زمان گذر، کاهش پیدا می کند. ولی با توجه به اینکه در

فهرست مراجع

- [1] L. Ye, L.Z. Lin, and K.P.Juenyst, "Application Studies of Superconducting Fault Current Limiters in Electric Power Systems", IEEE Trans. on Appl. Superconductivity, Vol. 12, PP. 900-903, March 2002.
- [2] K. Hongesombut, Y. Mitani, and K.Tsuji, "Optimal Location Assignment and Design of Superconducting Fault Current Limiters Applied to Loop Power System", IEEE Trans. on Appl. Superconductivity. Vol.13, PP.1828-1831, June 2003
- [3] Yu Jiang, Shi Dongyuan, DuanShijie. "Comparison of Superconducting Fault Current Limiter in Power System". Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE, Vol 1, July 2001.
- [4] Pina J. M., Suarz P., VentimNeves M., Rodingues A. L. "Reverse Engineering of Inductive Fault Current Limiters". Phys..Conf. Ser. 2010.
- [5] M. Firuzi, S. Aslani, G. B. Gharehpetian and A. Jalilvand, "Effect of Superconducting Fault Current Limiters on Successful Interruption of Circuit Breakers", EA4EPQ, ICREPQ'12, March 2012.
- [6] V. Sokolovsky, V. Meerovich, I.Vajda, "Transient Stability of a Power System with Superconducting Fault Current Limiters", 2006
- [7] Tsuda, Y. Wlitani, K.Tsuji, K. Kakihana, "Application of Resistor Based Superconducting Fault Current Limiter to Enhancement of Power System Transient Stability ", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, Vol.11, No.1, March 2001.
- [8] ByungChul Sung, Dong KeunParkl and Tae KukKo, "Study on a series Resistive SFCL to Improve Power System Transient Stability Modeling, Simulation and Experimental Verification," IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 56, No.79, July 2009.
- [9] Emhemed, A.S, "Analysis of Transient Stability Enhancement of LV-Connected Induction Micro generators by Using Resistive-Type Fault Current Limiters", IEEE Trans. on Appl. Superconductivity, May 2010.
- [10] Y.Shirai, K.Furushiba, Y.Shouno, M.Shiotsu and T.Nitt, "Improvement of Power System Stability by Use of Superconducting Fault Current Limiter With Zno Device and Resistor in Parallel, "IEEE Trans on Applied Superconductivity, Vol.18, No.2, June 2008.
- [11] H. Hooshyar, M. Savaghebi, "RSFCL Optimum Shunt Resistance Determination to Enhance Power System Transient Stability", Universities Power Engineering Conference Sept 2008.
- [12] Y. Shirin, M. Taguchi, M. Shiotsu, H.Hattag and T. Nitta, "Simulation Study on Operating Characteristics of Superconducting Fault Current

- زمان گذر محدودکننده باید کمتر از زمان بازبست کلیدها باشد.
و نهایتاً برای طراحی محدود کننده علاوه بر میزان کاهش جریان اتصال کوتاه مورد نیاز، هزینه های مربوط به خرید و نصب محدود کننده، بررسی محل نصب محدود کننده و همچنین تاثیر پارامترهای طراحی آن بر روی پایداری گذرای سیستم نیز باید در نظر گرفته شود.

پیوست الف

جدول ۱: مشخصات ژنراتورهای مورد استفاده در سیستم مورد مطالعه

Parameters	G1	G2	G3
MVA	۴۴۵.۲	۴۴۵.۲	۴۰۰
V(KV)	۲۰	۲۰	۲۰
Xd(pu)	۱.۸۳	۲.۰۷	۲.۰۷
Xq(pu)	۱.۸۳	۲.۰۱	۲.۰۱
X'd(pu)	۰.۳۱	۰.۳۲۸	۰.۲۴۲
X'q(pu)	(Slient Pole)	۰.۲۶۵	(Slient Pole)
X''d(pu)	۰.۲۶	۰.۲۶۶	۰.۲۳۶
X''q(pu)	۰.۲۶	۰.۲۶۴	۰.۲۳۶
T'd(Sec)	۰.۹۸	۱.۰۲۵	۱.۰۲۵
T'q(Sec)	(Slient Pole)	۰.۴	(Slient Pole)
T''d(Sec)	۰.۰۲	۰.۰۳۵	۰.۰۳۸
T''q(Sec)	۰.۲	۰.۳۵	۰.۰۳۵۳
H(Sec)	۳.۶	۴	۳.۶

جدول ۲: مشخصات خطوط مورد استفاده در مدل سیستم مورد مطالعه

	V (kV)	R (Ω /km)	X (Ω /km)	B (μ s/km)	Length (km)
Line1	۲۳۰	۰.۰۱۹۲	۰.۲۸۸	۳.۸۶۶۸	۶۰
Line2	۲۳۰	۰.۰۷	۰.۴۰۴	۲.۷۹۹	۲۰
Line3	۲۳۰	۰.۰۷	۰.۴۰۸	۲.۷۸	۲۰

جدول ۳: مشخصات ترانسفورماتورهای سیستم مورد مطالعه

	Sn(MVA)	V2/V1(kv)	Uk(%)
T1	400	230/20	12.5
T2	380	230/20	12.5
T3	400	230/20	13

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

Limiter in One-machine Infinite bus Power System", IEEE Trans. on Appl. Superconductivity, Vol.13, pp.1822-1827, June 2003.

[13] Joao MurtaPina, Pedro Pereira, AnabelaPornto, "Modelling and Simulation of Inductive Fault Current Limiters", PysicsProcedia, 2011