بررسی راهکارهای کاهش سطح اتصال کوتاه در شبکه خراسان

مصطفی عیدیانی
دانشگاه آزاد بجنورد
info@eidiani.com

کاظم عاملی
مهندسین مشاور نارسیس - دانشگاه آزاد تربت حیدریه
info@narvan.ir

کلمات کلیدی: کاهش سطح اتصال کوتاه، شبکه خراسان، قابلیت اطمینان، نرم‌افزار DIgSILENT Power Factory

چکیده: *با توسعه و گسترش شبکه های انتقال و توزیع، مقدار جریان خطا افزایش یافته است. در این مقاله ابتدا روشهای قدیمی و جدید کاهش جریان خطا که بصورت تئوری و عملی از آنها استفاده شده است؛ گردآوری شده و سپس روشهای عملی کاهش جریان خطا بر روی شبکه خراسان با نرم‌افزار DIgSILENT بررسی شده است. در این بررسی، قابلیت اطمینان شبکه، هزینه بهره‌برداری از روش ارائه شده و حفاظت سیستم نیز در نظر گرفته شده است.*

۱ مقدمه

از اوایل دهه هفتاد میلادی، مطالعات کاهش جریان خطای شبکه‌های انتقال و توزیع به عنوان یکی از موضوعات مهم تحقیقاتی در جهان آغاز شده است [1,2]. محققین ابتدا تلاش خود را متوجه ساخت تجهیزاتی کرده‌اند که بتوان دامنه جریان خطا را در همان لحظه شروع خطا به حد قابل قبولی کاهش دهد؛ همانطوری که برقگیرها در سیستم قدرت می‌توانند دامنه اضافه ولتاژهای گذرا را به سرعت محدود نمایند. برای این منظور اضافه کردن راکتانسهایی در ترانسها، شکستن و کوچک کردن شینها و یا استفاده از راکتورها، می‌توانست نقش محدود کننده جریان خطا را ایفا کند ولی با پیشرفت تکنولوژی، بکارگیری فیوزهای نوع انفجاری، مدارهای تشدید، ابررساناها و ... مطرح گردید. محدود کننده‌های جریان خطا در دهه اخیر، عناصری سری با تجهیزات شبکه هستند و وظیفه دارند جریان اتصال کوتاه مدار را قبل از رسیدن به مقدار حداکثر خود محدود کنند بطوریکه توسط کلیدهای قدرت موجود قابل قطع باشند. این تجهیزات در حالت عادی، مقاومت کمی در برابر عبور جریان از خود نشان می‌دهند ولی پس از وقوع اتصال کوتاه و در لحظات اولیه شروع جریان، مقاومت آنها یکباره بزرگ شده و از بالا رفتن جریان اتصال کوتاه جلوگیری می‌کنند. این تجهیزات پس از هر بار عملکرد باید قابل بازیابی بوده و در حالت ماندگار سیستم، باعث اضافه ولتاژ و یا تزریق هارمونیک به سیستم نگردند [1,2].

در بخش دوم مقاله، ابتدا به تشریح انواع مختلف روشهای محدودسازی جریان خطا پرداخته می‌شود و سپس روشهای عملی قابل استفاده در شبکه خراسان بررسی می‌شود. در بخش سوم، جریانهای اتصال کوتاه شبکه خراسان در حالت فعلی بررسی و مرتب می‌شوند. در بخش چهارم، بررسی مقدماتی قابلیت اطمینان شبکه خراسان آورده شده است. در بخش پنجم، راهکارهای عملی کاهش سطح اتصال کوتاه سه فاز و تکفاز بطور جداگانه بررسی شده است. و در نهایت، نتیجه نهایی این بررسی آورده شده است.

۲ روشهای کاهش سطح اتصال کوتاه

در این فصل روشهای جدید و قدیمی کاهش سطح اتصال کوتاه بررسی می‌شود. سپس از بین روشهای موجود، عملی‌ترین روش انتخاب و برای شبکه خراسان مورد استفاده قرار می‌گیرد [1-3].

روشهای زیادی برای کاهش سطح اتصال کوتاه در شبکه وجود دارد که در اینجا فهرست مهمترین آنها آورده شده است[1-2].

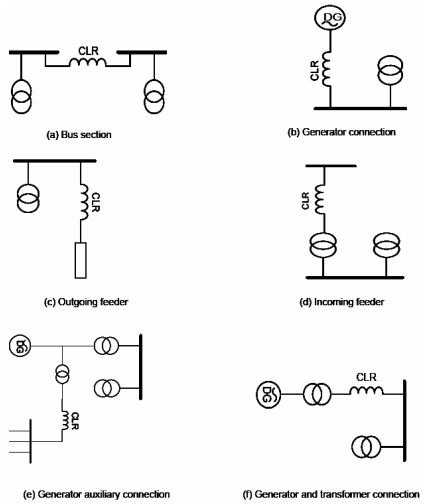
- راکتور محدودکننده جریان
- محدودکننده I_S
- قطع سریع
- جداکردن شبکه یا تقسیم شین
- انتخاب هر چه بیشتر ولتاژ نامی شبکه
- محدودکننده امپدانسی همراه با کلید مکانیکی

- محدودکننده جریان خطای سوپرهادی دمای بالا HTS[1]
- محدودکننده جریان خطای حالت جامد[2]
- محدودکننده امپدانسی و مدار تشدید با سوئیچ تریستوری
- محدودکننده جریان با فیوز انفجاری با قدرت قطع بالا
- محدودکننده جریان قابل بازیافت با مقاومت غیرخطی پلیمر

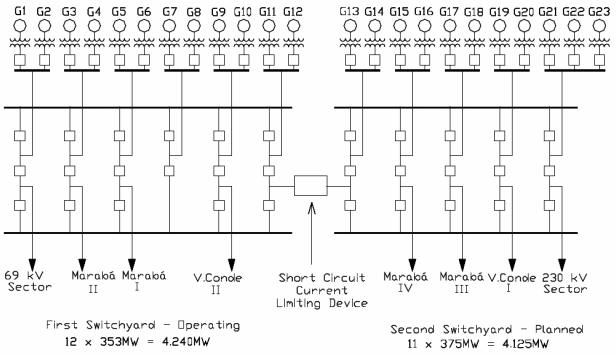
در ادامه مزایا و معایب بعضی از روشها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۱ راکتور محدودکننده جریان[3] (CLR)

راکتور محدودکننده جریان (CLR)، با شبکه بصورت سری متصل می‌شود [4-6]. بعضی از کاربردهای عمومی CLR در شکل (۱) نشان داده شده است. مزیت اصلی CLR در سادگی و ارزانی آنست. بطوریکه با کمترین هزینه امکان کاهش سطح اتصال کوتاه وجود دارد تا نیازی به تعویض سویچگیرها نباشد. عیب CLR در وجود یک راکتانس بزرگ در حالت عادی شبکه است که باعث کاهش سطح ولتاژ منبع و در نتیجه کاهش ولتاژ مصرف‌کننده شده و سپس باعث عمل‌کردن تپ چنجرهای ترانسها می‌شود. لذا برای استفاده از این روش در کاهش سطح اتصال کوتاه باید در جایی از راکتورها استفاده کرد که در حالت عادی جریان و توان کمی از آن عبور کند ولی در حالت خطا جلوی افزایش جریان را بگیرد. که نوع (a) در شکل (۱) می‌تواند نمونه خوبی برای استفاده از راکتور سری باشد به شرط اینکه بار در دو طرف راکتور بطور مساوی تقسیم شده باشد. شکل (۲) نمونه دیگری از یک نمونه عملی استفاده از راکتور سری در شبکه برزیل است [5]. اندازه این راکتور با ۲۰۱۰ نمونه نقطه کار بررسی و محاسبه شده است. نکته مهم نهایی در استفاده از راکتور سری بررسی بهبود ولتاژ گذرا (TRV[4]) می‌باشد. که باید با بررسی حالت گذرای اتصال کوتاه، چگونگی تغییرات سطح ولتاژ در سیستم مورد بررسی قرار بگیرد که معمولاً لازم است برای کاهش اثرات گذرای ولتاژ، از یک و یا چند خازن برای محدودکردن این اثرات استفاده کرد [4-6].



شکل ۱: کاربردهای عمومی CLR [3]



شکل ۲: نمونه عملی استفاده از راکتور سری در شبکه برزیل [5]

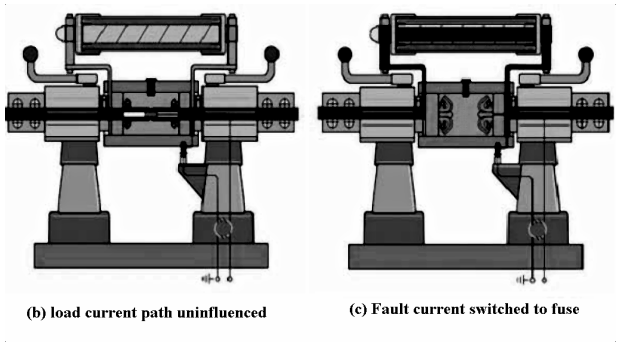
۲-۲ محدودکننده Is

محدودکننده I_S دارای یک هادی اصلی و یک فیوز موازی است [7,8]شکل (۳). در حالت کار عادی، جریان از هادی اصلی عبور می‌کند و در هنگام خطا، با یک ضامن، جریان از هادی اصلی جدا شده و به فیوز منتقل می‌شود. اینکار باعث می‌شود جریان خطا در همان ابتدا (کمتر از یک میلی ثانیه) قطع شود. این نوع محدودکننده در سطح ولتاژ پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای استفاده از این نوع محدود کننده در باسهای ارتباطی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: بهبود کیفیت توان – افزایش قابلیت اطمینان شبکه – کاهش امپدانس شبکه – پخش بار بهینه – عدم تغییر ساختار باسهای موجود. این نوع محدودکننده را می‌توان با محدودکننده‌های معمولی سلفی موازی

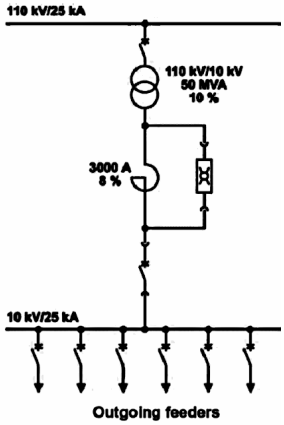
[1] High Temperature Superconducting Fault Current Limiter (HTSFCL)
[2] Solid-State Fault Current limiter (SSFCL)
[3] Current Limiting Reactors
[4] Transient Recovery Voltage

کرد که اینکار باعث کاهش تلفات مسی سلف، باعث کاهش افت ولتاژ سلف و کاهش میدانهای الکترومغناطیسی سلف می‌شود (شکل ۴).

از آنجا که این محدودکننده حداکثر در سطح ولتاژ 40kv ساخته شده است لذا امکان استفاده از آن در خطوط 63kv و 132kv شبکه خراسان وجود ندارد.



شکل ۳: محدودکننده I_S



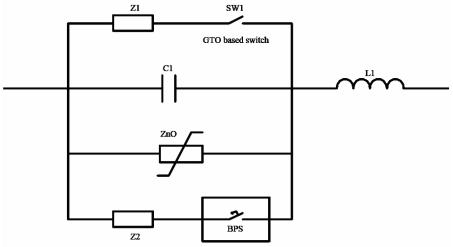
شکل ۴: اتصال موازی یک محدودکننده I_S با یک سلف محدودساز

۲-۳ محدودکننده جریان خطای سوپرهادی دمای بالا HTS

یک محدودکننده جریان خطای سوپرهادی (SFCL) برخلاف یک سلف و یا ترانسفورماتور امپدانس بالا، جریان خطا را بدون اضافه کردن امپدانس در حالت عادی شبکه کاهش می‌دهد [9-11] که از مزایای اصلی این محدودکننده بشمار می‌رود ولی به هر حال، بدلیل قیمت بالا تا ۵ یا ۱۰ سال آینده امکان استفاده عملی از آن در شبکه‌های قدرت وجود ندارد [2].

۲-۴ محدودکننده‌های جریان خطای حالت جامد

یک شکل کلی از انواع مختلف محدودکننده‌های جریان خطای حالت جامد (SSFCL) در شکل (۴) نشان داده شده است [12]. ساختار اصلی یک SSFCL شامل بانک خازنی C1، راکتور L1 و کلید سریع SW1 و GTO می‌باشد. در حالت عادی، امپدانس مجموعه خازن و سلف، صفر می‌باشد و در حالت خطا با حذف شدن خازن توسط کلید SW1، سلف L1 باعث کاهش جریان خطا می‌شود.



شکل ۵: ساختار کلی یک SSFCL

SSFCL بدلیل قیمت بالا، قابلیت اطمینان پایین و افزایش پیچیدگی سیستم بطور وسیع مورد استفاده قرار نگرفته است [3,12].

۲-۵ جداکردن شبکه یا تقسیم شین

متعارفترین و ارزانترین روش کاهش جریان خطا، جداکردن شبکه و یا تقسیم شین است. ولی اینکار به تنهایی باعث کاهش قابلیت اطمینان شبکه می‌شود.

۲-۶ بقیه روشهای کاهش جریان خطا

قطع سریع در هر حال خیلی موثر و مفید است زیرا بیشتر اثرات اتصال کوتاه، مانند ازدیاد درجه حرارت سیم، ولتاژ تماس و پایداری دینامیکی شبکه تابع زمان اتصال کوتاه می‌باشد. محدودکننده‌هایی که از فیوز برای قطع جریان استفاده می‌کنند به علت غیر بازیافت بودن تجهیزات (سوخته شدن فیوز و ضرورت تعویض آن) کاربردشان محدود است. همچنین محدودکننده‌هایی که از کلید مکانیکی برای تغییر مسیر جریان خطا استفاده می‌کنند اغلب در محدود کردن جریان قبل از اولین قله ناموفق هستند [1-3].

۲-۷ نتیجه

پس از بررسیهای بسیاری که در مورد موارد عملی کاهش جریان خطا در ایران و دیگر کشورها انجام شد [1,3] این نتیجه بدست آمد که بهترین و عملی‌ترین روش برای کاهش جریان خطای سه فاز، استفاده ترکیبی از راکتور و جدا کردن شینها و سیستم می‌باشد. همچنین برای کاهش جریان تکفاز، می‌توان علاوه بر موارد فوق از ایزوله کردن ترانسهای 132kv و اضافه کردن مقاومت به نول ترانسهای 63kv در شبکه خراسان استفاده کرد. در ادامه مقاله، چگونگی تعیین راهکار عملی برای کاهش جریان خطای شبکه خراسان آورده شده است.

۳ بررسی اولیه جریانهای اتصال کوتاه در شبکه خراسان

از آنجا که اطلاعات شبکه خراسان از جمله خطوط، ژنراتورها و بارها در نقطه پیک تحت نرم‌افزار DIgSILENT [13] در دسترس بود بررسی و تعیین باسهای بحرانی از نظر اتصال کوتاه کار مشکلی نبود. با توجه به قدرت کلیدهای نصب شده در پستها، باسهای بحرانی در جدول (۲) آورده شده‌اند.

۴ بررسی اولیه قابلیت اطمینان شبکه خراسان

از آنجا که با تغییر سیستم (مثلاً جداکردن شینها) می‌توان جریان خطا را کاهش داد ولی قابلیت اطمینان شبکه کاهش می‌یابد لذا در بررسی روشهای کاهش جریان خطا علاوه بر هزینه، عملی بودن، قابلیت اطمینان محدودکننده، باید به تغییر قابلیت اطمینان سیستم نیز توجه کرد. لذا در ادامه چگونگی بررسی قابلیت اطمینان شبکه خراسان برای بررسی در کاهش جریان خطا آورده شده است.

۴-۱ تبدیل اطلاعات شبکه برای نرم‌افزار DIgSILENT

اطلاعات اولیه خطوط، ترانسها و ژنراتورها بصورت چند فایل از "مرکز دیسپاچینگ شمال شرق" گرفته شده است. این اطلاعات که بصورت خام داده شده، پس از مرتب کردن و جدا کردن زمانهای خرابی، تعمیرات و سلامت اجزاء سیستم به پارامترهای قابل استفاده در نرم‌افزار DIgSILENT تبدیل شده است. این تبدیل با نوشتن دو برنامه انجام شد. برنامه اول اختلاف ساعت بین دو تاریخ داده شده را محاسبه می‌کند (HOCA.exe) و برنامه دوم به زبان مطلب، میانگین و واریانس زمان خرابی و سلامت واحدها را محاسبه کرده سپس این زمانها را رسم می‌کند.

در نتایج خروجی، پارامتری که اهمیت بیشتری دارد ENS[5] و یا انرژی توزیع نشده در کل سیستم است که برای مقایسه دو سیستم از نظر قابلیت اطمینان مورد استفاده قرار می‌گیرد. نشان داده شده است که ENS پارامتر قابل قبولی در مقایسه سیستمها می‌باشد [14-15].

۴-۲ تعیین پارامترهای اصلی قابلیت اطمینان شبکه خراسان

پس از تعیین جداول مربوط به قابلیت اطمینان اجزاء سیستم، خروجی قابلیت اطمینان سیستم قابل محاسبه است. از بین پارامترهای سیستم، ENS از اهمیت بیشتری برخوردار است. خروجی قابلیت اطمینان شبکه خراسان تحت نرم‌افزار DIgSILENT در جدول (۱) آورده شده است. با کمک جدول (۱)، امکان بررسی و مقایسه سیستمهایی که به عنوان راهکار کاهش سطح اتصال کوتاه معرفی می‌شوند وجود دارد.

جدول ۱: خروجی قابلیت اطمینان شبکه خراسان

پارامتر	خلاصه	مقدار
System Average Interruption Frequency Index	SAIFI	2.723 1/Ca
Customer Average Interruption Frequency Index	CAIFI	2.723 1/Ca
System Average Interruption Duration index	SAIDI	1.738 h/Ca
Customer Average Interruption Duration Index	CAIDI	0.638 h
Average Service Availability Index	ASAI	0.9998
Average Service Unavailability Index	ASUI	0.00019
Energy Not Supplied	**ENS**	2131.7MWh/a
Average Energy Not Supplied	AENS	۲۴ MWh/Ca
Average Customer Curtailment Index	ACCI	163MWh/Ca
Expected Interruption Cost	EIC	0.0 M$/a
Interrupted Energy Assessment Rate	IEAR	0.0 $/kWh
System energy shed	SES	0.0 MWh/a

۵ راهکارهای عملی کاهش سطح اتصال کوتاه شبکه خراسان

در بخش ۲ به این نتیجه رسیدیم که جداکردن شبکه یا شینها، اضافه کردن راکتور سری بین باسها و ایزوله و یا اضافه کردن مقاومت به نول ترانسها، بهترین راه کاهش جریان خطا می‌باشد. لذا در این قسمت، چگونگی تعیین دقیق این تغییرات در شبکه خراسان بررسی می‌شود.

۵-۱ کاهش سطح اتصال کوتاه سه فاز

[5] Energy Not Supplied

در این بخش تغییراتی که باعث کاهش جریان خطای سه فاز می‌شود بررسی می‌شود. این روشها باعث کاهش جریان تکفاز نیز می‌شود.

۵-۱-۱ جدا کردن باسها

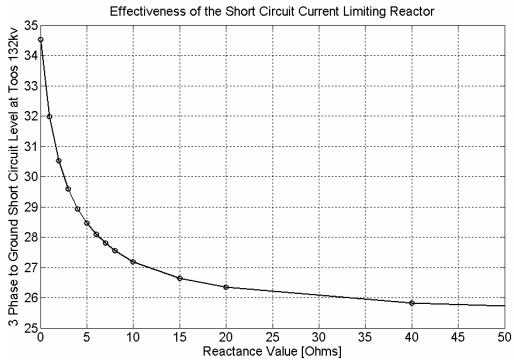
از آنجا که جداکردن باسهای دوبلی که جریان خطای بالایی دارند به شدت باعث کاهش جریان خطا می‌شود لذا در اولین گام از این روش استفاده می‌شود. اینکار باعث کاهش قابلیت اطمینان سیستم می‌شود که باید با بقیه روشها مقایسه شود. نتیجه در جدول (۲) آورده شده است.

۵-۱-۲ راکتور سری

اضافه کردن راکتور سری بین باسهای جدا شده باعث می‌شود علاوه بر کاهش جریان خطا، قابلیت اطمینان نیز کاهش نیابد. مقدار بهینه راکتور با توجه به شکل (۶) برای باسها مقدار (۲۰) اهم در هر فاز محاسبه و منظور شده است. مقاومت راکتور ۵٪ اندازه راکتانس فرض شده است. نتیجه نهایی اضافه کردن راکتور در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: تعیین جریانهای اتصال کوتاه (بر حسب کیلو آمپر) در سیستم اصلی و تغییر یافته(A قیمت پایه)

باس	سطح ولتاژ kv	نوع خطا	جریان خطای شبکه پایه	دو تیکه کردن باسها	راکتور سری با امپدانس بهینه	ایزوله کردن تمام ترانسها	مقاومت سری 20ohm با نول ترانسها
مشهد	۶۳	سه فاز	۳۱،۶۲	۱۹،۶۲	۲۰،۳۲۷	۳۱،۶۲	۳۱،۶۲
کوهسنگی	۶۳	سه فاز	۲۶،۵۳	۱۹،۶۸	۱۹،۰۳۵	۲۶،۵۳	۲۶،۵۳
توس	۶۳	سه فاز	۲۴،۳	۲۴،۲۸	۲۴،۲۸	۲۴،۳	۲۴،۳
خواجه ربیع	۶۳	سه فاز	۲۵،۷۱	۱۸،۹۳	۱۸،۴۴	۲۵،۷۱	۲۵،۷۱
شریعتی	۶۳	سه فاز	۲۵،۴۱	۲۵،۳۸	۲۵،۳۹	۲۵،۴۱	۲۵،۴۱
بازار رضا	۶۳	سه فاز	۲۳،۱۳	۱۶،۶۹	۱۷،۳۶	۲۳،۱۳	۲۳،۱۳
توس	۱۳۲	تکفاز	۴۱،۱۳	۲۸،۷۹	۲۵،۵۹	۲،۰۲۱	۳۰،۰۸
شریعتی	۱۳۲	تکفاز	۳۲،۸۸	۲۳،۶۵	۱۹،۶۲	۱،۹۶۲	۲۷،۳۷
شهرک صنعتی	۱۳۲	تکفاز	۳۰،۲	۲۳،۶۸	۲۱،۵۷	۲،۰۵	۲۴،۴۱
توس	۱۳۲	سه فاز	۳۴،۵۲	۲۵،۲۴	۲۶،۳	۳۴،۵۲	۳۴،۵۲
شریعتی	۱۳۲	سه فاز	۲۹،۱۴	۲۲،۳	۲۱،۵۱	۲۹،۱۴	۲۹،۱۴
شهرک صنعتی	۱۳۲	سه فاز	۳۰،۲۲	۲۳،۵۰	۲۴،۳۱	۳۰،۲۲	۳۰،۲۲
مشهد	۶۳	تکفاز	۳۶،۳۴	۲۱،۷۲	۱۶،۳۷	۰،۷۳۳	۲۲،۵۷
توس	۶۳	تکفاز	۲۶،۵۸	۲۶،۵۷	۲۵،۶۲	۰،۷۶۱	۱۳،۴۶
کوهسنگی	۶۳	تکفاز	۲۸،۷۹	۱۹،۸۸	۱۹،۲۳	۰،۷۶۲	۱۹،۰۰
شریعتی	۶۳	تکفاز	۲۶،۲۲	۲۶،۱۹	۲۵،۱۵	۰،۷۴۶	.۱۴،۶۵
خواجه ربیع	۶۳	تکفاز	۲۷،۵۷	۱۸،۳۷	۱۸،۶۳	۰،۷۲۴	۱۷،۸۶
ENS سیستم بر حسب MWh در سال			۲۱۳۱،۷۷۳	۲۱۳۱،۹۰۸	۲۱۳۱،۸۵۹	۲۱۳۱،۷۷۳	۲۱۳۱،۷۷۳
اختلاف هزینه با شبکه پایه			صفر	صفر	3A	A	1.8A



شکل ۶: تاثیر اندازه راکتور بر جریان اتصال کوتاه باس توس

۵-۲ کاهش سطح اتصال کوتاه تکفاز

در این بخش روشهای اختصاصی برای کاهش جریان خطای تکفاز آورده شده است.

۵-۲-۱ مقاومت سری با نول ترانس

اضافه کردن مقاومت و یا سلف به نول ترانسها، باعث کاهش جریان خطای نامتقارن تکفاز می‌شود. مقدار بهینه اندازه مقاومت با توجه به شکل (۷) برای ترانسها مقدار (۲۰) اهم محاسبه و منظور شده است. اضافه کردن مقاومت تاثیری در قابلیت اطمینان سیستم ندارد ولی باعث می‌شود تغییراتی در حفاظت پستها انجام شود که هزینه آن باید با بقیه روشها مقایسه شود. نتایج نهایی در جدول (۲) آورده شده است.

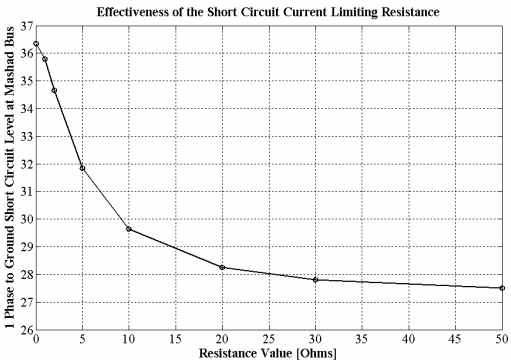
۵-۲-۲ ایزوله کردن ترانسها

یکی از حالتهای خاص اضافه کردن مقاومت، مقدار بینهایت و یا ایزوله کردن ترانس می‌باشد که هزینه نصب مقاومت در آن صرفه‌جویی شده است ولی باعث نامتعادلی بیشتر در حالت نامتقارنی سیستم می‌شود.

۵-۳ نتیجه

با توجه به اثرات روشهای انجام شده در بخش ۵ در کاهش جریان خطا و با توجه به هزینه روش (هزینه افزایش ENS، هزینه نصب تجهیزات، هزینه تغییرات در حفاظت سیستم و ...)، به شرکت برق توصیه شده است بر اساس هزینه‌ای که برای کاهش جریان خطا مد نظر دارد به ترتیب راه‌حلهای زیر را انجام دهد و چون جریان خطای تکفاز بیشتر از سه فاز است لذا باید ابتدا جریان تکفاز کاهش یابد.

- ایزوله کردن ستاره ترانسها
- اضافه کردن مقاومت بهینه به نول ترانسها
- دو تیکه کردن باسهای بحرانی
- اضافه کردن راکتور سری بین باسهای بحرانی



شکل ۷: تاثیر اندازه مقاومت در نول ترانس ژنراتورهای مشهد بر جریان اتصال کوتاه در باس مشهد

۶) نتیجه‌گیری

در این مقاله برای اولین بار در ایران، یک تحقیق دقیق بر چگونگی کاهش جریان خطا با توجه به قابلیت اطمینان سیستم انجام شده است که با اطلاعات دقیق شبکه و نرم‌افزار استاندارد DIgSILENT، نتایج عملی برای کاهش جریان خطا بدست آمده است. همچنین در ابتدای مقاله تمام روشهای کاهش جریان خطا مورد بررسی قرار گرفته و علت عدم استفاده از روشهای جدید آورده شده است. نتایج نهایی به عنوان پیشنهاد به شرکت برق منطقهای خراسان اعلام شده است.

تشکر و قدردانی

در این مقاله لازم می‌دانیم از همکاریهای صمیمانه شرکت برق منطقه‌ای خراسان، جناب آقای مهندس سبزواری، مهندس مدقق و مهندس یزدان‌پناه کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

مراجع

[1] مصطفی عیدیانی، "بررسی مقدماتی روشهای کاهش سطح اتصال کوتاه"، گزارش اول پروژه شماره ۸۴/۵۵/۱، شرکت برق منطقه‌ای خراسان، ۱۳۸۴، قابل دریافت از:
www.eidiani.com/daryaft/shortcircuitred.pdf

[2] مصطفی عیدیانی، "مراجع روشهای کاهش سطح اتصال کوتاه، پایان‌نامه، مقاله، گزارش تا سال ۲۰۰۲"، قابل دریافت از:
www.eidiani.com/daryaft/refshortcircuit.pdf
[3] Integrating renewable and CHP into the UK electricity system, Xueguang Wu, Nick Jenkins, Goran Strbac, Jim Watson and Catherine Mitchell, Tyndall Centre for Climate Change Research Technical Report 13, Chapter 4 Impact on the GB distribution network, March 2004
[4] Alstom (2002), Air Core Reactor, www.tde.alstom.com
[5] J. Amon, P.C. Fernandez, E.H. Rose, A.D. Ajuz and A. Castanheria, "Brazilian successful experience in the usage of CLR for short circuit limitation", Int .Con. on Power Sys. Transient (IPST'05) Montreal, Canada, June 19-23, Paper No. IPST05-215, 2005.
[6] Current limiting reactors,
http://www.hilkar.com/currentlimitingreactors.htm
[۷] Hartung K.H. (2002), Is-limiter – The Solution for High Short-circuit Current Applications, ABB Calor Emag, 2002, www.abb.de/calor
[۸] ABB (2002), Is-limiter, ABB Calor Emag, 2002, www.abb.de/calor
[9] ABB (2003), HTS FCL, www.abb.com
[10] Siemens (2003), SFCL, www.siemens.com
[11] TEPCO (2003), Development of FCL, www.tepco.co.jp/rd/power/dtyodend/fcl/ fcl-e.html
[12] Zou J., Chen J., Dong E, "Study of Fast-closing Switch Based FCL with Series Compensation", Electrical Power and energy System, Vol. 10, pp 120-131, 2002.
[13] شرکت متن بین‌الملل، نرم‌افزار Power Factory DIgSILENT، نماینده رسمی و انحصاری شرکت DIgSILENT آلمان در ایران، پژوهشگاه نیرو، تهران.
[14] حمید فلقی، محمود فتوحی فیروز آباد، "مدل‌سازی و تحلیل ادوات خطایاب روی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع"، هجدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، صص ۱۴۹-۱۵۹، آبان ۱۳۸۲.
[15] مصطفی عیدیانی، "بررسی قابلیت اطمینان شبکه توزیع و فوق توزیع مشهد"، گزارش سوم پروژه شماره ۸۴/۵۵/۱، شرکت برق منطقه‌ای خراسان، ۱۳۸۴.