

امکان سنجی کاربرد محدود ساز جریان خطا در پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت شبکه انتقال انرژی ایران

حمید جوادی ایمان رحمتی عباس اخوان*

گروه مهندسی برق

دانشکده صنعت آب و برق

تهران - صندوق پستی ۱۷۱۹-۱۶۷۶۵

javadi@pwit.ac.ir

*: دفتر برنامه ریزی سازمان توانیر

کلمات کلیدی: جریان اتصال کوتاه، محدودساز جریان خطا، شکستن شینه ها

چکیده

امروزه باتوسعه روزافزون مصرف انرژی الکتریکی، تولید و شبکه های انتقال برق گسترش فوق العاده ای پیدا نموده اند. باگسترش شبکه های الکتریکی، بروز خطاهایی که منجر به ایجاد اتصال کوتاه در شبکه الکتریکی میگرددند افزایش یافته و به دنبال آن جریانهای حاصل از این اتصال کوتاهها نیز افزایش می یابند. این افزایش جریان خودباعث افزایش اضافه ولتاژهای گذرا، افزایش گرمای حاصل از عبور جریان، کاهش قابلیت اطمینان شبکه، افزایش نیروهای دینامیکی مؤثر بر تجهیزات نیز می گردد. از طرفی قطع جریان اتصال کوتاه بالاتر به کلید هائی با قدرت قطع قویتر نیازمند می باشد که این خود در کل افزایش هزینه سیستم انتقال انرژی را موجب خواهد شد. در این مقاله، پس از ارائه روشهای محدودسازی جریان خطا و تاریخچه کاربرد های آن در جهان، وضعیت شبکه انتقال

انرژی ایران مورد مطالعه و بررسی کمی قرار گرفته و ضرورت داشتن محدودساز جریان خطا در موقع بروز خطا ارزیابی شده است. نتایج اتصال کوتاه در شبکه توسعه یافته ایران نشان می دهند در یک دهه آینده ناگزیر به اتخاذ تدابیر خاص برای کاستن جریان اتصال کوتاه در شبکه های فشارقوی می باشیم که این مقاله نتایج حاصل از شکسته شدن شینها و تاثیر آن در کاهش جریان خطا را نشان می دهد

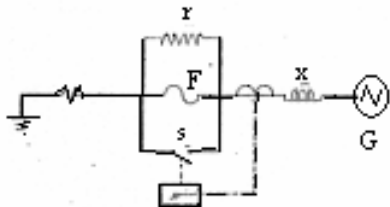
۱- مقدمه

از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی با گسترش شبکه الکتریکی تلاشهای گسترده ای جهت کاهش سطح اتصال کوتاه در جهان آغاز و اندیشمندان و محققین شروع به مطالعه و تحقیق در باره تهیه وساخت تجهیزاتی جهت محدود سازی جریان خطا نمودند. با توسعه سیستمهای قدرت احتیاج به بازرسی و

از سال ۱۹۸۰ به بعد با دستیابی به تکنولوژی وساخت کلیدهای خلاء و SF₆ که دارای قدرت قطع جریان و ولتاژ نامی بالاتری می باشند درعمل نیاز به راکتورهای سری بسیارکم شده است اما همچنان به اشباع نرفتن راکتانس(راکتور) در شرایط اتصال کوتاه یک معیار جدی در طراحی آنها می باشد. اگر اندازه جریان خطا حدوداً بیش از سه برابر جریان نامی راکتور در بار کامل باشد، که معمولاً هم در شرایط اتصال کوتاه چنین می باشد، در آن صورت نیاز به هسته ای با مقطع بسیار بزرگ خواهد بود و این امر باعث گرانی چنین راکتورهایی میگردد. به همین خاطر در راکتور های محدود کننده جریان خطا ترجیحاً از راکتورهای هسته هوایی خشک و یا غوطه ور در روغن(با وبدون شیلد) استفاده می گردد.

- محدود کننده های فیوز انفجاری با قدرت قطع بالا

عملکرد این نوع محدود کننده ها تقریباً شبیه فیوزها میباشد(شکل ۱). محدود کننده های فیوز انفجاری به علت غیر قابل برگشت بودن (یکبار مصرف بودن) نسبت به بقیه روشها کاربرد کمتری دارند [1].



شکل (۱) محدود کننده فیوز انفجاری

- محدود کننده جریان خطا از نوع فیوز قابل بازیافت [4]

این نوع محدود کننده جریان (CL) شامل یک مقاومت PTC می باشد که از پلیمر اشباع شده فلزی (آلیاژ) ساخته شده و بطور موازی با یک وریستور قرار می گیرد(شکل ۲). مقاومت المان PTC با افزایش دما (بر اثر افزایش جریان خطا) افزایش می یابد. المان وریستور جهت محدود کردن اضافه ولتاژهای ناشی از مقاومت بسیار زیاد المان PTC و همچنین جهت از بین بردن انرژی اندوکتیو ذخیره شده ضروری می باشد.

بازبینی سالانه سطوح خطا در تمام پستهای مهم قدرت بیشتر شده و همچنین بررسی در مورد ظرفیت قطع و نوع عملکرد کلیدهای قدرت ضرورت یافته تا اگر نیاز باشد کلید های جدید با قدرت قطع بالاتر در شبکه نصب گردد و یا تجهیزاتی مانند محدود کننده های جریان خطا به شبکه های موجود افزوده شوند. بطور کلی مکانیزم تمام روشهای محدود کننده های جریان خطا بر اساس وارد کردن یک امپدانس بزرگ در زمان وقوع خطا بوده و تنها در نحوه عمل کرد و چگونگی وارد شدن امپدانس به شبکه (مدار) و خارج شدن از آن متفاوت میباشد. در این ارتباط خصوصیتی که از محدود کننده های جریان خطا انتظار می رود عبارتند از [1,2]:

- ۱- داشتن مقاومت کم در جریان نامی سیستم
- ۲- وارد کردن امپدانس بسیار بزرگ در مدت زمان بسیار کوتاه به هنگام وقوع خطا که این خود باعث محدود کردن جریان خطا می شود.
- ۳- قابلیت عملکرد متعدد و امکان بازیابی مجدد آنها
- ۴- عدم ایجاد هارمونیک در شبکه
- ۵- عدم ایجاد اضافه ولتاژهای گذرادر شبکه
- ۶- ایجاد قابلیت اطمینان بالاتر در شبکه
- ۷- داشتن مؤلفه های اتصال کوتاه کمتر بخصوص از نظر مؤلفه DC

۲- مکانیزمهای محدودسازی جریان خطا

- راکتورهای محدود کننده جریان خطا [12,15]

انواع راکتورهای مورد استفاده در سیستمهای قدرت

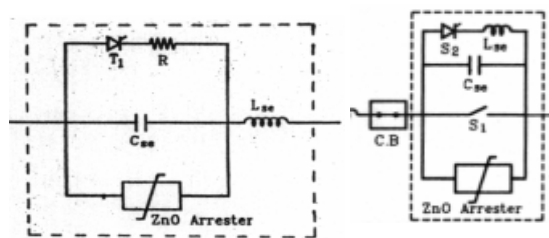
بصورت زیر دسته بندی می شوند:

- راکتورهای محدود کننده جریان بصورت اشباع شده یا اشباع نشده(راکتور سری)
- راکتورهایی که در نوترال نصب شده و به نامهای کوپل خفه کننده آرک، کوپل پترسون و ختشی کننده خطای زمین نامیده می شوند.
- راکتورهای موازی که از آنها جهت جبران سازی استفاده می گردد.
- راکتورهایی که در فیلترهای هارمونیک کاربرد دارند.

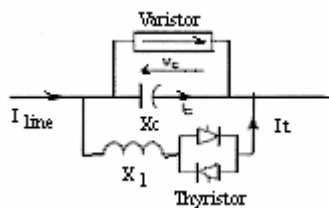
شده است. این نوع محدود کننده ها معمولاً با امپدانس بسیار پایین عمل کرده و در حالت معمولی امپدانس آن در سیستم نامحسوس می باشد. در شکل (۵-ب) ترانسفورمر ۴۰ مگاوات آمپری شبکه ۱۲,۴ Kv را با عبور از یک SCFCL تغذیه می نماید. SCFCL در حالت معمولی تاثیری بر عملکرد مدار نداشته ولی در موقع وقوع خطا محدود کننده به یک امپدانس $P.U. 0.2$ ($Z=20\%$) تبدیل شده و جریان خطای I_{sc} که در حالت معمولی برابر با $37000 A$ بوده را به مقدار $7400 A$ می رساند.

امروزه توسعه ابرساناهای درجه حرارت بالا (HTS) امکان کاربرد SC FCL را از نظر اقتصادی میسر نموده است و این نیز بر پایه کشف ابرساناهای درجه حرارت بالا در سال ۱۹۸۶ می باشد به نحوی که هم در دماهای بالاتر عملکرد داشته وهم توسط نیتروژن مایع که نسبتاً ارزان می باشد خنک می گردند، این کشف باعث از سر گرفته شدن مطالعات در مورد محدود کننده های جریان خطای ابرسانایی گردید که نمونه هائی از آن عبارتند از [11-13]:

- محدود کننده جریان خطای ابرسانا از نوع شیلد مغناطیسی
- راکتور هسته شیلد شده BSCCO بعنوان محدود کننده جریان خطا
- محدود کننده جریان خطای HTS از نوع فلوی قفل شونده

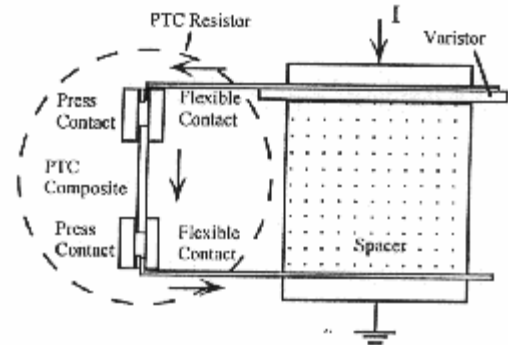


شکل (۳) محدود کننده های رزونانسی



شکل (۴) مدل کلی محدود سازی جریان با امپدانس متغیر

در این نوع محدود کننده ها یک کلید مکانیکی که دارای عملکرد بسیار سریع بوده در موقع بروز خطا امپدانس را که به صورت مقاومتی یا سلفی است، وارد مدار می کند مهمترین انواع آن به شرح زیر می باشند [1]:



شکل (2) طرح کلی یک محدود کننده جریان PTC

- محدود کننده جریان خطای امپدانس مکانیکی [1,8]
- محدود کننده جریان خطا با استفاده از متوقف کننده های موازی و کلید مقاومتی
- محدود کننده جریان خطا بر اساس روش انحراف قوس با استفاده از ریل مقاومتی
- محدود کننده جریان خطا بر اساس روش انحراف قوس با استفاده از المان منحرف کننده قوس
- محدود کننده جریان خطای امپدانس با کلید تریستوری [5,6,17]

انواع این نوع محدود کننده جریان خطا عبارتند از:

- محدود کننده جریان خطای رزونانس موازی و یا رزونانس سری (شکل ۳).
 - محدود کننده های جریان با امپدانس متغیر (شکل ۴).
 - محدود کننده های ابرسانا [7,9-11]
- در محدود کننده های جریان خطای ابرسانا نیز مانند دیگر محدود کننده ها اساس طرح بر پایه ایجاد (ورود) یک امپدانس بزرگ در موقع بروز خطا در مسیر جریان خطا می باشد. مواد ابرسانا می توانند به عنوان یکی از انواع محدود کننده های جریان خطا (FCL) بکار گرفته شوند (SCFCLs). یک نوع از این محدود کننده در (شکل ۵- الف) نمایش داده

۴- تجارب بدست آمده از کاربرد محدود سازجریان خطا در جهان [14]

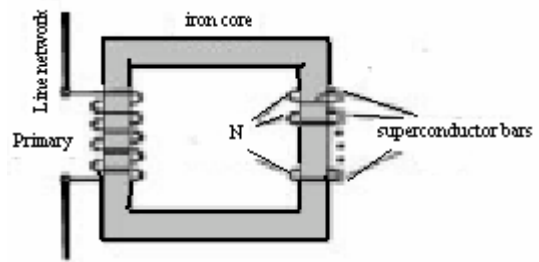
۱- در برزیل FCE (Furnas Centrais Electricas) یک شرکت الکتریکی است که در زمینه تولید و انتقال انرژی الکتریکی فعالیت می‌کند و مسئولیت تامین انرژی در ناحیه جنوب شرقی برزیل را عهده دار می‌باشد. یک کار معمول در بسیاری از شرکت‌های برزیلی و از جمله Furnas جهت کم کردن جریان خطا، استفاده از راکتورهای سری با هسته هوایی درسیم پیچ ثالثیه اتوترانسفورماتورهای توزیع می‌باشد. این شرکت اخیراً مقدماتی فراهم کرده‌است تا از CLR در مدار سری انتقال در سطح ولتاژ ۱۴۵kV و ۳۶۲kV استفاده شود تا بدین وسیله جریان اتصال کوتاه شبکه به سطح قابل تحمل برای تجهیزات فعلی و قابل قطع توسط کلیدهای موجود تقلیل یابد.

مدیریت برق برزیل در حال حاضر به سمت جداسازی تولید و انتقال پیش می‌رود و این موضوع اهمیت کنترل جریانهای اتصال کوتاه را بیش از پیش کرده است. مطابق برنامه ریزی های انجام شده طی سالهای بعد چندنیروگاه حرارتی به شبکه برزیل می‌بایستی اضافه شود. تعدادی از این نیروگاهها که در ایالت ریودوژانیرو هستند ضربه شدیدی به شبکه Furnas وارد می‌کنند. بدین خاطر تحقیقات مقدماتی انجام شده است تا با جدا کردن باسبارها یا نصب محدودسازجریان خطا مشکل را حل نمایند.

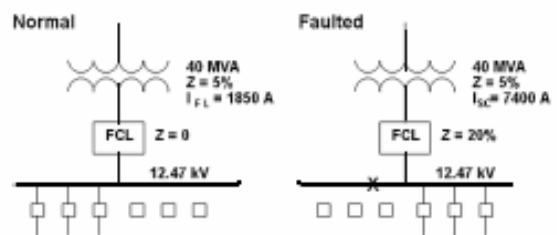
۲- در فرانسه شرکت EDF (Electricite de France)

مسئولیت تولید و توزیع برق در کشور فرانسه را عهده دار می‌باشد. تا به امروز EDF در هیچ نقطه از شبکه فرانسه محدود ساز جریان خطا نصب نکرده است و تمام تجهیزات به گونه ای طراحی و انتخاب شده و می‌شوند تا بتوانند کل جریان اتصال کوتاه را تحمل کنند.

۳- در آلمان عموماً آرایش شبکه و طراحی پست‌ها و انتخاب تجهیزات به گونه ای بوده است که بتوانند جریان اتصال کوتاه شبکه را تحمل کنند. ولی شرکت EnBW که ۱۰٪ برق آلمان را تولید می‌کند و این شرکت مشترکین زیادی در اروپای مرکزی، لهستان، جمهوری چک و سوئیس دارد. در دومورداز



الف: مدل یک محدودساز ابررسانا SCFCL



ب: محل قرار گرفتن SCFCL

شکل (۵) کنترل جریان خطا با یک محدود کننده

سوپرهادی

۳- ویژگیهای لازم در طراحی محدودسازهای جریان خطا [14]

در طراحی و انتخاب محدودسازهای جریان خطا می‌بایستی ویژگیهای زیر لحاظ شوند.

- مقادیر نامی:

امپدانس تجهیز در رژیمهای مختلف کاری

جریان متحمل/محدود شده، اضافه ولتاژ در زمان عملکرد،

سرعت عملکرد، پدیده های گذرا، مدت زمان بازیابی تجهیز

بعد از عملکرد، قابلیت انجام چند بار عملکرد پیاپی

- حفاظت:

سازگاری با طرحهای حفاظتی موجود، سازگاری با

طرحهای حفاظتی جدید در آینده، محدود کردن انرژی مخرب

اتصال کوتاه به منظور ایجاد محیط کار امن تر برای پرسنل.

- تاثیر بر روی محیط زیست:

میزان اختلالات الکترومغناطیسی (در حالت استفاده از

راکتور موازی)

- عمر مفید و طریقه نگهداری:

هزینه (نصب، کارکرد، هزینه های دوره ای و ...)

- محدود سازهای جریان خطا ابرسانادر سطح ولتاژ ۲۰kv استفاده کرده است.
- ۴- کمپانی National Grid که بهره برداری از شبکه انگلستان و والس را به عهده دارد و از سطح ولتاژهای ۲۷۵kv و ۴۰۰kv در خطوط انتقال استفاده می کند، تاکنون از ۸ راکتور سری به عنوان محدود کننده جریان اتصال کوتاه در شینه های فوق استفاده کرده است.
- ۵- در کانادا، شرکت Manitoba Hydro تنها یک بار در سال ۱۹۹۱ از محدودساز جریان خطا در یک پست ۲۴kv استفاده کرده است. اما کمپانی Hydro Quebec که اصلی ترین شرکت برق رسانی در استان Quebec می باشد، تجارب مربوط به محدودسازی جریان خطا بشرح زیر دارد.
- استفاده از یک FCL در فیدر ۱۳/۸kv به منظور کاهش جریان خطا در سمت ۳۳۰kv شبکه
- استفاده از یک FCL در سطح ولتاژ ۳۳۰kv به منظور پرهیز از جداکردن باسبارهای اصلی پست
- استفاده از یک FCL برای خط ۷۳۵ kv با جبران سازی سری به منظور کاهش فشار روی وریستورها.
- ۶- در آمریکا، شرکت Con Edison که ظرفیت تولید بیش از ۸۵۰۰ MW را دارا می باشد و طی چند سال آتی حدود ۸۲۰۰ MW تولید جدید به سیستم آن اضافه می گردد و باعث خواهد شد میزان جریان خطای تقریبی در سطح ولتاژ ۳۴۵KV آن برابر ۷۱KA و در سطح ولتاژ ۱۳۸KV برابر ۸۳KA شود و این مقادیر از قدرت قطع نامی کلیدهای فعلی آن بالاتر است به همین دلیل قرار است موارد زیر را اجرا کند:
- نصب یک راکتور سری در هریک از ۴ خط ۳۴۵KV که شمال و جنوب سیستم را به هم پیوند می دهند.
- نصب یک راکتور سری در یک فیدر ۱۳۸KV بین دو پست
- نصب یک راکتور سری بین باسبار یک پست کلیدزنی ۱۳۸KV
- نصب یک تنظیم کننده زاویه فاز در یک پست کلیدزنی ۱۳۸KV
- ۷- شرکت KEPCO شرکت ملی برق کره می باشد. در سال ۲۰۰۱ دولت کره اقدام به بازسازی ساختار سیستم تولید و انتقال کرد تا بدین وسیله یک بازار رقابتی در این زمینه ایجاد نماید. از آنجا که میزان بار و تولید در کره و به ویژه در شهرهای بزرگ به سرعت در حال افزایش است، به نظر می رسد که استفاده از FCL ها می تواند راه حل خوبی برای کاستن جریان خطا باشند. اقدامات به عمل آمده در سطح ولتاژ ۱۵۴kv این کشور به شرح زیر است:
- آن دسته از کلیدها و پستهای گازی (GIS) که جریان اتصال کوتاه از مقدار نامی آنها فراتر رفته بود تعویض شدند.
- عملکرد کلیدهای کوپلاژ باسبارهای پستها در مکانهایی که جریان اتصال کوتاه بالا رفته بود حذف شد.
- در ثانویه ترانسهای ۱۵۴/۲۲/۹KV و بین نوترال و زمین از راکتورهای کنترل جریان استفاده شده تا جریان اتصال فاز زمین محدود شود.
- اقدامات به عمل آمده در سطح ولتاژ ۳۴۵KV نیز عبارتند از:
- CB ها و GIS هایی که در آنها جریان خطا از مقدار نامی تجاوز کرده بود تعویض شدند.
- کلیدهای کوپلاژ باسبار در پستهای مشکلدار حذف شدند.
- ۸- در حال حاضر در کشور ژاپن محدودساز های جریان خطا FCL به شکل گسترده ای در شبکه های برق استفاده نشده اند و تنها چند مورد تا سطح ولتاژ 7.2 KV و آنها هم بیشتر برای مقاصد تحقیقاتی به کار گرفته شده اند.

۵- محاسبات اتصال کوتاه در شبکه ایران و تعیین شینه‌های با جریان خطای زیاد

با استفاده از بسته نرم افزار (BPA) [3] محاسبات اتصال کوتاه در شبکه فشار قوی ایران (که برای سال ۱۳۹۰ برنامه ریزی شده) در سطوح ولتاژ ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت انجام شده است ، برا ساس این محاسبات تعداد محدودی از شینه‌های شبکه ایران دارای جریان اتصال کوتاه بیش از ۳۰۰۰۰ آمپر در محل اتصال کوتاه هستند (بیشتر کلیدهای قدرت موجود با جریان نامی ۳۰-۵۰ کیلو آمپر هستند که جریان اتصال کوتاه ۳۰ کیلو آمپر با ملحوظ کردن ضریب مولفه dc آن، این کلیدها را در مرز بحرانی قرار می دهد). جدول (۱) نام شین و مقدار موثر جریانهای اتصال کوتاه سه فاز و تکفاز آنها را نشان می دهد.

۶- توزیع جریان خطا و ارزیابی آن در شینه‌های بحرانی

در محاسبات اتصال کوتاه هر شین به عنوان یک گره در نظر گرفته شده و جریانهای نشان داده شده در جدول (۱)، جریانی هستند که از گره به سمت زمین وارد می شوند. کلیه کلیدهای موجود در این پستهای فشارقوی (گره ها) باید نسبت به قطع آن جریانها توانمندی لازم را دارا باشند و قدرت قطع نامی آنها فراتر از جریان اتصال کوتاه محاسبه شده باشد. متنها در اغلب موارد جریان اتصال کوتاه عبوری از هر کلید متفاوت (کمتر) از تمام جریان اتصال کوتاه شین یا گره می باشد و همین امر موجب می گردد همواره در انتخاب کلیدها بر اساس محاسبه جریان خطا در شینها همواره یک ضریب اطمینان قابل توجهی برای کلید داشته باشیم. برای نمونه توزیع جریان خطا در شین جلال در شکل (۶) نشان داده شده است. ملاحظه می گردد جریان عبوری از فیدرها یا خطوط متصل به شین کمتر از جریان خطا است (کلیدهای قدرت در ابتدای این فیدرها یا خطوط قرار دارند).

از نتایج اتصال کوتاه شینها و بررسی توزیع جریانها در خطوط متصل به این شینها موارد زیر را می توان استنتاج کرد:

۱- بیشترین جریان خطا (خطای سه فاز و تکفاز) عموماً در محل خطا جاری می گردد و منابع تولید کننده جریان خطا (ژنراتورها) و یا خطوط متصل به شین که جریان خطا را تامین می کنند هر یک دارای مقادیر کمتری از جریان خطای شین می باشند (هر یک بخشی از جریان خطا را هدایت می کنند) که این جریان از جریان قابل قطع کلیدها گاهی بسیار کمتر می باشد مگر در خطاهائی که درست نزدیک شین و در ابتدای خط متصل به آن و درست بعد از کلید (جریان Closing in fault) رخ دهد که جریان این نوع خطا ها با جریان خطا در خود شین مورد ارزیابی حدوداً یکی است و به قدرت قطع کلیدهای مربوطه نزدیک می باشد.

۲- در اغلب شینه‌های بحرانی میزان جریان خطا در مرز قدرت قطع آنها و یا کمی بیشتر است لذا با توجه به اینکه بالاترین قدرت قطع کلیدهای موجود در شبکه فشارقوی ایران ۵۰ کیوا آمپر است پس لازم است کلیدهای کمتر از ۵۰ کیلو آمپر به این رنج ارتقاء یابند.

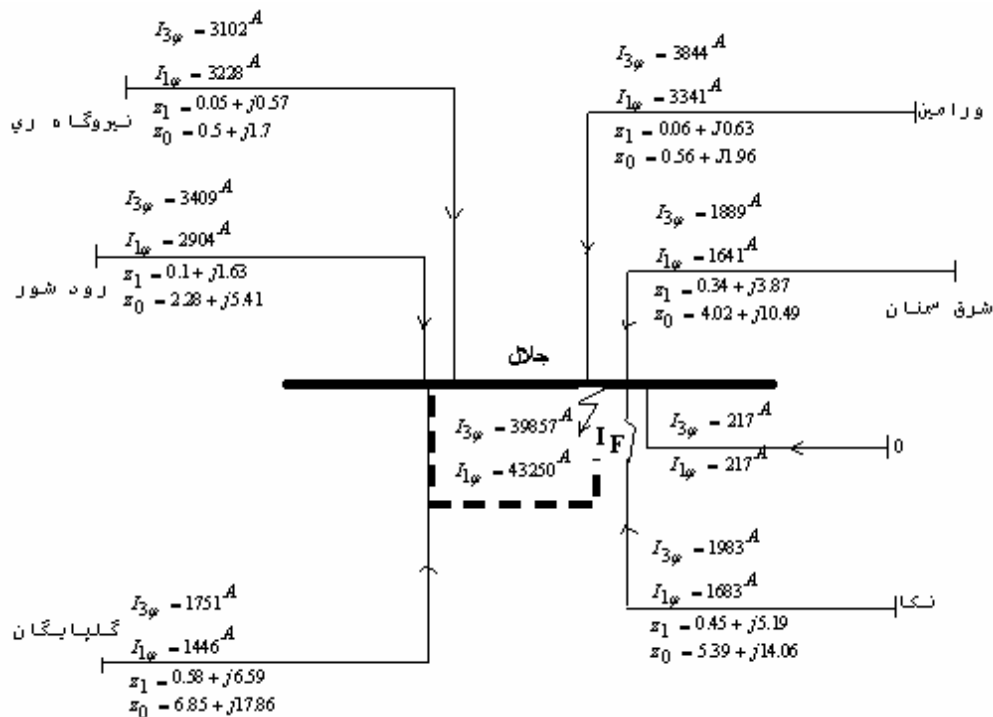
۳- چون برنامه اتصال کوتاه انجام شده برای شبکه ایران برای سال ۱۳۹۰ می باشد و در بعضی از این پستها، خطوط و یا نیروگاه جدیدی قرار است به مدار آیند شکسته شدن شین و به عبارتی ایجاد یک شین جدید در پست می تواند در کاهش جریان خطا موثر باشد.

۴- البته با گذشت زمان و عملکرد های متعدد کلیدهای قدرت، کارائی و ضریب اطمینان کلیدها کاهش می یابد و بدین خاطر لازم است مطالعه و بازنگری سطح اتصال کوتاه در شینها و ترمیم کلیدهای قدرت به طور متوالی در پستهای فشار قوی صورت گیرد.

جدول (۱): جریان اتصال کوتاه در تعدادی از شینهای

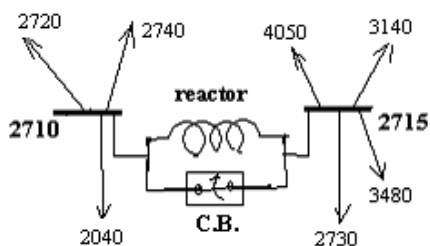
فشارقوی ایران برای سال ۱۳۹۰

ردیف	شماره و نام شین [KV]	جریان سه فاز Pu / [A]	جریان تکفاز Pu / [A]
۱	(2740) منتظر قائم گازی ۲۳۰	35.68-j193.39 =493۶۵	34.31-j202.23 =51490
۲	(2710) فیروزبهرام ۲۳۰	42.44-j198.66 =50984	42.21-j175.68 =45356
۳	(1240) رامین ۲۳۰	24.58-j169.4 =42968	26.38-j198.88 =50362
۴	(3100) منتظر قائم ۲۳۰	35.08-j186.15 =47552	34.88-j188.98 =48242
۵	(2040) ری گازی ۲۳۰	33.75-j179.94 =45975	32.08-j183.39 =46736
۶	(2330) نیروگاه دماوند ۴۰۰	36.95-j287.85 =41890	39.18-j318.07 =46259
۷	(1100) کارون ۳، ۴۰۰	16.53-j277.12 =40071	19.47-j317.37 =45896
۸	(1080) شهید عباسپور ۴۰۰	17.66-j265.09 =38349	20.46-j305.69 =44223
۹	(3140) کن ۱ ۲۳۰	35.08-j170.42 =43678	32.57-j139.26 =35902
۱۰	(2340) جلال ۴۰۰	35.43-j273.84 =39857	38.62-j297.14 =43250
۱۱	(3170) کن ۲ ۲۳۰	34.64-j165.48 =42440	32.33-j133.02 =34365
۱۲	(2530) ری شمالی ۲۳۰	32.38-j162.35 =41556	31.19-j139.58 =35903
۱۳	(2720) آزادگان ۲۳۰	35.09-j159.73 =41054	37.89-j138.61 =36073
۱۴	(3740) پارک جنگلی ۲۳۰	30.39-j160.17 =40926	28.57-j135.79 =34834
۱۵	(2900) خورخانه ۲۳۰	33.99-j153.87 =39556	37.01-j136.04 =35392
۱۶	(3180) نمایشگاه ۲۳۰	29.2-j148.43 =37973	27.71-j106.79 =27695
۱۷	(3750) رجایی بخاری ۴۰۰	27.64-j239.34 =34776	29.37-j257.82 =37454
۱۸	(1850) نیروگاه کرمان ۲۳۰	12.41-j121.31 =30611	14.07-j148.48 =37441
۱۹	(۲۹۲۰) شوش ۲۳۰	31.48-j145.24 =37306	36.11-j129.36 =33716
۲۰	(3760) رجایی گازی ۴۰۰	27.08-j237.48 =34501	28.88-j255.03 =37047
۲۱	(3330) شازند ۲۳۰	15.97-j120.3 =30463	16.73-j128.36 =34986
۲۲	(1730) بندر عباس ۲۳۰	15.17-j110.79 =28072	16.77-j132.1 =334۲۷



شکل (۶) توزیع جریان خطا در پست جلال

در حالت عادی توسط یک کلید بسته ولی با سرعت قطع بالا (تریستوری) به هم وصل باشند به نحوی که توزیع بار شبکه در حالت عادی بهم نخورد. (کلید رابط بین این دو شین با یک محدودساز جریان (از نوع راکتور) نیز می‌تواند موازی می‌باشد) که با وقوع خطا این کلید بلافاصله باز و دو شین از طریق راکتور مجزا می‌گردند (شکل ۷). ضمناً جدول‌های ۲ و ۳ نتایج اتصال کوتاه را در حالت مجزا شدن دو شین نشان می‌دهند. مقایسه این جریانها با جریان اتصال کوتاه در قبل از شکسته شدن شین فیروزبهرام نشان می‌دهد که جریان خطا ۲۴٪ کاهش یافته است. البته مطالعات تکمیلی از نقطه نظر حالت‌های گذرا، پخش بار و پایداری سیستم در طول خطا همچنان مورد نیاز است که در ادامه این تحقیقات صورت خواهند گرفت



شکل (۷) شکسته شدن شین فیروزبهرام

۷- شکسته شدن شینها و بررسی جریان اتصال کوتاه در آنها

همانطور که ذکر شد یکی راهکارهای کنترل و جلوگیری از توسعه سطح اتصال کوتاه در شبکه های بزرگ به هم پیوسته، شکسته کردن و مجزا نمودن یک شین با تعداد زیاد ورود و خروج خطوط انتقال و فیدر نیروگاهی به دو شین مجزا می‌باشد در شبکه ایران در سال ۱۳۹۰ با توسعه پیش بینی شده شبکه بدترین شینها از نظر سطح اتصال کوتاه شینهای ردیف ۱ الی ۱۰ از جدول (۱) می‌باشند. در این شینها سعی شده تعدادی از خطوط انتقال با توجه به وضعیت جغرافیائی آنها روی شین جدیدی وصل گردند در این کار آترناتیوهای مختلفی وجود دارد که پس از مطالعه کلیه آن حالتها وضعیت مناسب حاصل شده و نتیجه برای یک نمونه در ادامه می‌آید. در این ارتباط برای پست فیروزبهرام با وضعیت بحرانی شدید، عمل شکسته شدن شین با حالت‌های مختلف توزیع خطوط و فیدرها روی دو شین حاصل از شکسته شدن این شین انجام شده و نتایج مطالعه اتصال کوتاه در زیر آورده شده است. چهار خط از این شین که به شینهای با کد ۲۷۳۰، ۳۴۸۰، ۴۰۵۰ و ۳۴۱۰ وصل بودند از این شین جدا و به شین جدید با کد ۲۷۱۵ متصل شدند شین ۲۷۱۰ و ۲۷۱۵ می‌توانند

جدول (۲) مقادیر جریان اتصال کوتاه خطوط متصل به پست فیروز بهرام

Z_0 [%PU]	Z_1 [%PU]	$I_{1\phi}$ [A]	$I_{3\phi}$ [A]	
0.228+j0.847	0.12+j0.619	30.73-j136.94=35232	30.13-j155.6=39786	(2710) فیروز بهرام ۲۳۰
0.22+j1.43	0.17+j1.14	6.96-j32.86=8431	7.35-j40.06=10224	خط 2710 به 2040
0.42+j1.32	0.08+j0.42	2*(7.9-j24.35=6427)	2*(7.38-j27.5=7149)	خط 2710 به 2720
1.91+j6.43	0.45+j2.26	5.02-j19.97=5169	5.68-j25.06=6449	خط 2710 به 2740
		2*(1.47-j17.71=4460)	2*(1.16-j17.74=4462)	T

جدول (۳) مقادیر جریان اتصال کوتاه خطوط متصل به پست جدید ایجاد شده در پست موجود فیروز بهرام

Z_0 [%PU]	Z_1 [%PU]	$I_{1\phi}$ [A]	$I_{3\phi}$ [A]	
0.283+j1.07	0.126+j0.634	27.93-j121.92=31399	30.25-j151.72=38834	(2715) فیروز بهرام ۲۳۰
0.7+j2.2	0.13+j0.76	6.55-j23.89=6219	7.15-j31=7985	خط 2715 به 2730
1.85+j6.23	0.28+j1.77	4.06-j17.37=4478	4.62-j23.66=6051	خط 2715 به 3480
1.05+j3.3	0.2+j1.15	2*(4.85-j16.54=4327)	2*(5-j20.73=5354)	خط 2715 به 4050
1.43+j4.82	0.22+j1.37	6.16-j25.23=6520	7.21-j34.74=8907	خط 2715 به 3140
		1.46-j22.35=5622	1.26-j20.85=5244	ترانسفورماتور T

۷- نتیجه

با مطالعه و تحلیل اتصال کوتاه شبکه ایران، ملاحظه می‌شود که در شرایط فعلی تعداد محدودی پست فشار قوی وجود دارند که جریان اتصال کوتاه آنها به حدود جریان نامی قابل قطع کلیدهای آنها می‌رسد ولی در مطالعات اتصال کوتاه شبکه توسعه یافته برای سال ۱۳۹۰، سطح اتصال کوتاه در بسیاری از شینه‌های فشارقوی افزایش قابل توجهی پیدا می‌نمایند که در تعدادی از آنها کلیدها در مرز کاملاً بحرانی قرار می‌گیرد (جریان از ۵۰ کیلو آمپر فراتر می‌رود) بدین خاطر آنالیز جریان خطای سه فاز و تکفاز در شینه‌های با جریان بیش از ۳۰ کیلو آمپر و توزیع سهم جریان خطا در این شینه‌ها انجام شد و ملاحظه شد علیرغم وجود جریان خطای زیاد در شینه‌های بحرانی، میزان جریانی که از کلیدهای موجود در ابتدای خطوط عبور می‌کند از مقادیر نامی آنها کمتر است ولی به لحاظ حفظ و افزایش قابل اطمینان شبکه لازم است به هنگام توسعه شبکه در انتخاب کلیدها توجه شود و قدرت

قطع آنها یک رنج بالاتر از مشخصات فعلی باشد (مثلاً ۶۳ کیلو آمپر انتخاب گردند).

در راستای اتخاذ تدابیری جهت جلوگیری از افزایش جریان خطا به هنگام توسعه شبکه، روش شکستن شدن شین‌های پر ترافیک و تبدیل آنها به دوشین تحقیق شد که در این خصوص مطالعات اتصال کوتاه برای شین مهم شبکه (شین فیروزبهرام) با فرض شکسته شدن شین، آنهم صرفاً به هنگام اتصال کوتاه (با باز شدن شین توسط یک کلید) انجام شده و نتایج ارائه شد. ملاحظه می‌شود که جریان اتصال کوتاه از بیش از ۵۰ کیلو آمپر به حدود ۳۸ کیلو آمپر کاهش یافته و این کار می‌تواند در آینده به طور جدی با انجام مطالعات تکمیلی پخش بار و پایداری شبکه، نهائی شده و مورد استفاده قرار گیرد.

۸- تقدیر و تشکر

موفین از سازمان محترم توانیر برای انجام حمایت مالی از این تحقیق سپاسگزاری می‌نمایند.

- 2002, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 12, No. 1.
- [10] Hiroyuki Hatta, Shinchi Muroya, Tanzo Nitta, Yasuyuki Shirai, and Masaumi Taguchi, "Experimental Study on Limiting Operation of Superconducting Fault Current Limiter in Double Circuit Transmission Line Model System", March 2002, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 12, No.1.
- [11] Toshitada Onishi, Masahiro Kawasumi, Ken-ichi Sasaki, and Ryo Akimoto, "An Experimental Study on a Fast Self-Acting Magnetic Shield Type Superconducting Fault Current Limiter", March 2002, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 12, No. 1.
- [12] M.G. Ennis, T. J. Tobin, Y. S. Cha, and J. R. Hull, "Fault Current Limiter – Predominantly Resistive Behavior of a BSCCO-Shielded-Core Reactor", March 2001, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1.
- [13] T. Matsumura, H. Shimizu and Y. Yokomizu, "Design Guideline of Flux-Lock Type HTS Fault Current Limiter for Power System Application", March 2001, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1.
- [14] CIGRE, "Fault Current Limiter (Functional specification, State of the arts, testing,...), parts A,B,C,D, 2002
- [15] Tacahiro Nomura, Mitsugi Yamaguchi, Satoshi Fukui, Kazuya Yokoyama, Takao Satoh and Koji Usui, "Single DC Reactor Type Fault Current Limiter for 6.6 kV Power System", March 2001, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1.
- [16] Jing Shi, Jiyan Zou, Junjia He, "Triggered Vacuum Switch-Based Fault Current Limiter", January 2001, IEEE Power Engineering Review, Page 51-53.
- [17] H. Javadi and H. Pourfarzad, "Effect of LC Resonant Fault Current Limiter on Quality of Voltage During a Short Circuit" Cigre AMSENTST, Sarajevo, 2003
- ۹- منابع و مراجع**
- [۱] جوادی، ح. شادی، ح. برهمندپور، ه. "مقایسه رفتار محدودساز جریان خطا از نوع مدارهای رزونانس موازی و رزونانس سری" یازدهمین کنفرانس بین‌المللی برق - آبان ۷۵
- [۲] جوادی، ح. محمدی، ا. رسولی، م. "آنالیز حساسیت مدار محدودساز جریان اتصال کوتاه از نوع تشدید موازی" دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی برق - آبان ۷۶
- [۳] عباس اخوان "محاسبات اتصال کوتاه"، دفتر برنامه ریزی وزارت نیرو - ۱۳۶۸
- [۴] Jørgen Skindøj, Joachim Glatz-Reichenbach, Rulf Strümler, "Repetitive current Limiter based on Polymer PTC Resistor", ABB Corporat Research, CH-5405 Baden Dättwil, Switzerland, April 1998, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 2.
- [5] R. K. Smith, P. G. Slade, M. Sarkozi, E. J. Stacey, J. J. Bonk, H. Mehta, "SOLID STATE DISTRIBUTION CURRENT LIMITER AND CIRCUIT BREAKER: APPLICATION REQUIREMENTS AND CONTROL STRATEGIES", July 1993, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3.
- [6] T.F. Godart, A.F. Imece, J.C. McIver, E.A. Chebli, "FEASIBILITY OF THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPACITOR FOR DISTRIBUTION SUBSTATION ENHANCEMENTS", January 1995, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No.1.
- [7] R. f. Giese, M. Runde, "ASSESSMENT STUDY OF SUPERCONDUCTING FAULT-CURRENT LIMITER OPERATING AT 77 K", July 1993, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3.
- [8] Jacek Zyborski, Tadeusz Lipski, Jozef Czucha, Saady Hasan, "Hybrid Arcless Low - Voltage AC/DC Current Limiting Interrupting Device", October 2000, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 4.
- [9] Seungje Lee, Eung Ro Lee, Chanjoo Lee, Suk-jin Choi, and Tae Kuk ko, "The Short Circuit Analysis of Integrated Three Phase Superconducting Fault Current Limiter with Two Phase Superconducting Circuit", March