بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد برق قدرت

جایابی بهینه محدودکننده جریان خطا در حضور تولیدات پراکنده

دانشجو : وحید اسدی

استاد راهنما : دکتر محسن نیاستی

مهر ۱۳۹۲

تقدیم به:

پدر و مادرم

دو ستاره همیشه فروزانم

که وجودشان روشنی بخش تمامی لحظات زندگیم است.

و چه صبور و عاشقانه آینده‌ام را به انتظار نشسته‌اند...

.

هرچه هستم، هرکه هستم، از آنانم و تا ابد سپاسگزارشان

تشکر و قدردانی:

با تشکر از خدایی که مرا از هیچ آفرید و بعد از دور دست ها بدین جا رساند تا بتوانم در خدمت شما باشم. ان شاء الله. با تشکر از خدایی که پدر و مادری مهربان و همیار را برایم قرار داد که در این مدت مرا مورد محبت و حمایت خود قرار دادند و تکیه گاه و پناه من بوده اند. امیدوارم که بتوانم شکرگذار این زحمات باشم.

و با تشکر از خدایی که اساتیدی راهنما را برایم قرار داد تا بتوانم جهت گیری تازه ایی را در مسائل زندگی و علمی ام دنبال کنم. چرا که ایشان قبل از آن که جلوی راهم را روشن کنند، راهم را روشن کردند. با سپاس از همگی آن ها. و تشکری مخصوص **از جناب آقای دکتر محسن نیاستی** که سرمشق بزرگی برای ما بودند.

باکمال امتنان

وحید اسدی

چکیده

در حضور منابع تولیدات پراکنده سطح اتصال کوتاه در سیستم توزیع افزایش می‌یابد و این امر منجر به برهم خوردن هماهنگی حفاظتی موجود در سیستم توزیع و ایجاد جریان‌های خطای بالاتر از قدرت قطع کنندگی کلیدها می‌شود. استفاده از محدودکننده‌های جریان خطا یکی از راه‌های مقابله با این موضوع است. در این پایان نامه استفاده از محدودکننده جریان خطا برای کاهش اثر منابع تولید پراکنده مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین مطالعات جایابی و تعیین ظرفیت بهینه برای محدودکننده‌های جریان خطا در شبکه توزیع با حضور منابع تولید پراکنده بر اساس ارزیابی اقتصادی انجام می‌شود. محاسبات عددی به روش الگوریتم ژنتیک در محیط نرم افزار MATLAB انجام خواهد شد و نتایج بدست آمده با نتایج مراجع دیگر مقایسه و ارزیابی می‌گردد.

کلید واژه: منابع تولید پراکنده، سطح اتصال کوتاه، محدودکننده جریان خطا، جایابی بهینه، الگوریتم ژنتیک

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه: ۱
۱-۲ ساختار پایان نامه ۲
فصل دوم :عوامل افزایش سطح اتصال کوتاه و روش‌های کاهش آن ۳
۲-۱ افزایش سطح اتصال کوتاه: ۳
۲-۱-۱ بالا رفتن قدرت تولیدی نیروگاههای جدید: ۳
۲-۱-۲- افزایش مدارهای ارتباطی: ۳
۲-۱-۳ کلاس ولتاژ بالا: ۳
۲-۱-۴ پستهای تبدیل ولتاژ: ۴
۲-۱-۵ افزایش ظرفیت پستها: ۴
۲-۲ لزوم انجام محاسبات اتصال کوتاه ۴
۲-۲-۱ تعاریف جریان اتصال کوتاه ۵
۲-۲-۱-۱ جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه ۵
۲-۲-۱-۲ پیک جریان اتصال کوتاه ۵
۲-۲-۱-۳ جزء غیر نوسانی نزولی جریان اتصال کوتاه ۵
۲-۲-۱-۴ جریان قطع متقارن اتصال کوتاه ۶
۲-۲-۱-۵ جریان اتصال کوتاه ماندگار ۶
۲-۲-۲ محاسبه جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه ۶
۲-۲-۳ امپدانس های اتصال کوتاه ۷
۲-۲-۴ فاکتورهای تصحیح ۹
۲-۳ محاسبه سطح خطا در شبکه با حضور منبع تولید پراکنده ۱۰
۲-۳-۱ سهم شبکه بالا دستی در خطا ۱۰
۲-۳-۲ سهم منبع تولید پراکنده در خطا ۱۱
۲-۳-۲-۱ سهم خطای ناشی از ژنراتورهای سنکرون ۱۱
۲-۳-۲-۲ سهم خطای ناشی از ژنراتورهای آسنکرون ۱۱
۲-۴ روش‌های کاهش سطح اتصال کوتاه: ۱۲
۲-۴-۱ استفاده از تجهیزات با ظرفیت مناسب: ۱۲

۲-۴-۲ در نظر گرفتن کاهش جریان اتصال کوتاه در طراحی با احتساب معیار لازم برای قابلیت اطمینان، پایداری و انعطاف‌پذیری سیستم: ۱۲
۲-۴-۳ استفاده از وسایل محدود کنندهٔ جریان اتصال کوتاه: ۱۳
۲-۴-۴ بکارگیری سیستم‌های حفاظتی ویژه جهت کاهش صدمات ناشی از وصل‌های مجدد و بی مورد کلیدها: ۱۳
۲-۵ روش‌های مقابله: ۱۳
۲-۶ انواع محدودکننده ها بر اساس نوع مصرف: ۱۴
۲-۶-۱ راکتورهای محدودکننده (CLR): ۱۴
۲-۶-۱-۱ راکتور محدودکننده جریان: ۱۴
۲-۶-۱-۲ راکتور زمین کننده نوترال سیستم: ۱۴
۲-۶-۱-۳ انواع راکتور بر اساس نوع طراحی: ۱۵
۲-۶-۲ محدودکننده‌های Is (Is Limiters): ۱۵
۲-۶-۲-۱ مکانیزم کارکرد Is-L : ۱۶
۲-۶-۳ محدودکننده‌های جریان خطا نوع حالت جامد : ۱۷
۲-۴-۳-۱- معرفی عملکرد (SSFCL) های نوع اول و دوم ۱۷
۲-۴-۳-۲ مقایسه دو نوع محدودکننده : ۱۹
۲-۶-۳-۳ عیب محدودکننده: ۲۰
۲-۶-۴ محدودکننده‌های جریان خطا ابررسانا ۲۰
۲-۶-۴-۱ نحوه عملکرد محدودکننده‌های جریان ابررسانا: ۲۱
۲-۶-۴-۲ مدل دستگاه: ۲۲
۲-۶-۴-۳ ساخت SFCL در ابعاد آزمایشگاهی: ۲۲
۲-۴-۴-۴- مزایا و معایب: ۲۳
فصل سوم : الگوریتم پیشنهادی ۲۵
۳-۱ مقدمه ۲۵
۳-۲ الگوریتم ژنتیک: ۲۶
۳-۲-۱ مراحل پیاده سازی الگوریتم ژنتیک ۲۷
۳-۲-۱-۱ مدل‌های مختلف مقداردهی کروموزوم‌ها ۲۸
۳-۲-۱-۲ مراحل سه‌گانه الگوریتم ژنتیک: ۳۰

۳-۲-۲ مدل بهینه عملگرهای الگوریتم تکاملی پیوسته: ۳۳
۳-۳ روش حل مسئله: ۳۵
۳-۴ تابع هدف و فرمولبندی مسئله: ۳۷
فصل چهارم : نتایج عددی ۴۰
۴-۱ سیستم تست ۱: ۴۰
۴-۲ سیستم تست ۲: ۴۶
۴-۳ سیستم تست ۳: ۵۵
فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۲
۵-۱ نتیجه‌گیری ۶۲
۵-۲ پیشنهادات ۶۳
منابع ۶۴

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه:

با گسترش روز افزون مصرف انرژی الکتریکی و با توسعه‌ی شبکه‌های انتقال و افزایش مراکز تولید پراکنده توان[1]، مسئله‌ی وقوع اتصال کوتاه، هم از لحاظ تعداد دفعات وقوع و هم از لحاظ شدت اثر رخداد بسیار حائز اهمیت شده است. گسترش شبکه با افزایش تعداد ادوات در شبکه همراه است که موجب افزایش احتمال وقوع اتصال کوتاه میشود. همچنین افزایش مراکز تولید و گسترش شبکه‌های قدرت، موجب افزایش سطح اتصال کوتاه می‌گردد. [۱و۲]

افزایش سطح اتصال کوتاه شبکه قدرت معایب فراوانی مثل افزایش قیمت تجهیزات و میزان تخریب آنها را به همراه دارد، لذا کاهش آن بسیار حائز اهمیت است. بالا بودن جریان اتصالی از طرفی باعث افزایش درجه حرارت دستگاهها و تجهیزات می‌گردد و از طرف دیگر باعث اعمال ضربات الکترودینامیکی به تجهیزات می‌گردد که نیاز به افزایش ظرفیت تجهیزات داشته و لذا باعث افزایش هزینه می‌گردد. با ازدیاد شدت جریان اتصالی و برای کاهش تبعات آن نیاز است خطا هر چه سریعتر رفع و قسمت معیوب از شبکه جدا گردد که این خود نیاز به کلیدهای سریعتر و مطمئن‌تر و در نتیجه گرانتر دارد. همچنین جریان زیاد باعث ایجاد ولتاژهای زیاد در سیستم قدرت می‌گردد که مسائل ایمنی را در بر دارد. همچنین قطع جریان اتصال کوتاه با دامنه بالا، باعث تولید اضافه ولتاژهای کلیدزنی شدید می‌گردد. در شبکه های فشار متوسط چون زمان باز شدن کلید و رفع خطا نسبت به شبکه‌های انتقال طولانی‌تر است، این موضوع حائز اهمیت می گردد، لذا کاهش سطح اتصال کوتاه و محدود کردن آن امری ضروری است. [۱و۲]

یک شبکه الکتریکی که در شرایط عادی بکار مشغول است عهده‌دار وظایفی است که به آن محول شده است. بطور مثال در یک شبکه ساده انتقال نیرو از مرکز تولید به محل مصرف باید تنظیمات و کنترل آنچنان باشد که فرکانس و ولتاژ مورد نظر مصرف کننده را در حد مشخص تامین نماید. بدلایل مختلف مواردی پیش می‌آید که اختلالی در شرایط کار عادی شبکه بوقوع می‌پیوندد. که در این حالت مقادیر کمیات الکتریکی شبکه مورد نظر از حدود نقطه کار عادی آن فاصله بسیاری دارند. طراحی تجهیزات و

[1] . distributed generations

نحوه کنترل باید قابلیت تحمل و پیشگیری این شرایط ناخواسته را داشته باشد. اختلالاتی که در شبکه ایجاد می‌شوند متنوع هستند. مانند قطع و وصل ناگهانی بار، خارج شدن و یا در مدار آمدن المانی از شبکه که خارج از قابلیت تحمل آن باشد. شدت افزایش اختلالات است که درجه اهمیت شناسایی و نحوه برخورد با آنها را مشخص می‌سازد. شاخص‌ترین آنها عیب‌های غیرمتعارفی هستند که در شبکه بوقوع می‌پیوندد و با عنوان اتصال کوتاه می‌باشد. اتصال کوتاه در شبکه‌های سه فاز بسته به نحوه اتصال فازهای مختلف با هم و یا با زمین انواع مختلفی دارند که مهمترین آنها اتصال کوتاه سه فاز است. اتصال کوتاه ممکن است در هر نقطه‌ای از ژنراتور یا المانهای موجود در پست و یا خطوطی ارتباطی رخ دهد. با گسترش شبکه‌های انتقال و افزایش خطوط انتقال نیرو بدلیل عوامل غیر قابل کنترل احتمال وقوع این حوادث بر روی خطوط انتقال نیرو به مراتب خیلی بیشتر از حوادثی است که در ایستگاه‌ها بوقوع می‌پیوندند. دستیابی به کمیات الکتریکی در موقع بروز این حوادث بمنظور بکارگیری تجهیزات از نظر قابلیت تحمل و همچنین تنظیمات وسایل حفاظتی اهمیت محاسبات اتصال کوتاه را آشکار می‌سازد.[۱و۲و۳]

اگر فقط از همین دیدگاه به مسئله بنگریم لزوم کاهش سطوح اتصال کوتاه مشخص می‌شود و اهمیت بررسی روشهایی که کاهش سطوح اتصال کوتاه را سبب می‌گردند بارزتر می‌شود. در این رابطه عوامل افزایش سطوح اتصال کوتاه و روشهای کاهش آن و چگونگی کاربرد این روشها در شبکه برق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲ ساختار پایان نامه

در این پایان‌نامه در فصل دوم ابتدا عوامل افزایش سطح اتصال کوتاه و روش‌های کاهش آن و محاسبات سطح اتصال کوتاه در حضور تولیدات پراکنده و انواع محدودکننده جریان خطا می‌پردازیم.

- فصل سوم ابتدا به معرفی الگوریتم ژنتیک و روش حل آن می‌پردازیم.
- فصل چهارم ایرادات تابع هدف دیگر مقالات و به چگونگی فرمولبندی تابع هدف و حل مسئله به روی سه شبکه ۱۳ و ۱۷ و ۳۰ باسه می‌پردازیم.
- فصل پنجم نتیجه‌گیری جایابی و مقایسه آن با نتایج دیگر مقالات و پیشنهادات می‌باشد.

فصل دوم :عوامل افزایش سطح اتصال کوتاه و روش‌های کاهش آن

۲-۱ افزایش سطح اتصال کوتاه:

در این فصل به دنبال روش‌های کاهش سطح اتصال کوتاه می‌باشیم، لذا ابتدا به عواملی که سبب افزایش سطح اتصال کوتاه می‌شوند می‌پردازیم زیرا ابتدا باید این عوامل را شناخت و سپس به مقابله با آنها پرداخت. مهمترین این عوامل را بصورت زیر می‌توان دسته‌بندی نمود.[۳]

۲-۱-۱ بالا رفتن قدرت تولیدی نیروگاههای جدید:

نیروگاههایی که در رابطه با توسعه شبکه در مدار قرار می‌گیرند در مجموع از قدرت تولیدی بیشتری نسبت به نیروگاههای قدیمی برخوردار هستند. واضح است که با بالا رفتن مصرف، نصب نیروگاههای جدید الزامی است و در مدار آمدن این نیروگاهها جریان اتصال کوتاه شبکه را بالا می‌برند. این افزایش در مورد پستهای نیروگاه و پستهای مجاور آن از شدت بیشتری برخوردار است.[۳]

۲-۱-۲- افزایش مدارهای ارتباطی:

در سطح ولتاژ معین بمنظور تغذیه بارهای جدید در مراحلی از توسعه شبکه برای انتقال بار احداث خطوط ارتباطی جدید اجتناب‌ناپذیر است و همانطور که قبلاً هم اشاره شده به جهت بالا بردن ضریب اطمینان شبکه وجود ارتباطات بیشتر الزامی است. جدا از مسائل فوق بهم پیوسته شدن سیستمهای نواحی مختلف هم عامل عمده‌ای در ایجاد اتصالات جدید و بالا رفتن سطوح اتصال کوتاه هستند. تأمین پایداری شبکه در سیستمهای بهم پیوسته از عوامل مهم افزایش اتصالات و عامل تعیین کننده‌ای در انتخاب کلاس ولتاژ بالاتر است.[۳]

۲-۱-۳ کلاس ولتاژ بالا:

در مراحلی از توسعهٔ شبکه با توجه به میزان انتقال بار و اهمیت پایداری شبکه به دلایل فنی و اقتصادی کلاس ولتاژ بالاتری انتخاب می‌گردد. در مواردی که ولتاژ بالاتر برای تغذیه پست‌های با بارهای سنگین بکار گرفته می‌شوند به دلیل مشخصات الکتریکی مدارهای ارتباطی در کلاس ولتاژ بالاتر، افزایش سطح اتصال کوتاه مطرح است.[۳]

۲-۱-۴ پستهای تبدیل ولتاژ:

چنانکه در مرحلهٔ قبل ذکر شد انتخاب کلاس ولتاژ بالاتر به منظور انتقال بار بیشتر است که در مسیرهای انتقال از طریق ترانسفورماتورهای تبدیل ولتاژ در ایستگاههای مورد نظر این عمل انجام می‌گردد. محل ایستگاههای تبدیل در مراحل برنامه‌ریزی توسعه شبکه تعیین می‌شود. نکتهٔ مهم این است که وقتی در نقطه‌ای از شبکه چنین تبدیلی انجام شود در طرف ولتاژ پایین‌تر معمولاً مدارات موجود در این ایستگاهها ورود و خروج می‌گردندکه علاوه بر اتصال از طریق ترانسفورماتور به شبکه با ولتاژ بالاتر، افزایش تعداد مداراتی که با نیروگاهها در سطح ولتاژ پایین‌تر رینگ هستند باعث افزایش جریان اتصال کوتاه می‌گردند.[۴و۵]

۲-۱-۵ افزایش ظرفیت پستها:

جابجایی و یا اضافه شدن ترانسفورماتورها به منظور بالا بردن ظرفیت پست از مواردی است که باعث افزایش جریان اتصال کوتاه و به خصوص در طرف فشارضعیف پستها توزیع می گردد.[۴و۵]

۲-۲ لزوم انجام محاسبات اتصال کوتاه

محاسبات اتصال کوتاه در تمامی سطوح ولتاژ شبکه‌های قدرت به منظور انتخاب مناسب سیستم‌های حفاظتی انجام می پذیرد .در شبکه‌های توزیع نیز ظرفیت اتصال کوتاه طراحی شده یکی از فاکتورهای مهم در بهره‌برداری ازاین شبکه‌ها میباشد که ماکزیمم ظرفیت قابل تحمل بریکرها و تجهیزات حفاظتی استفاده شده در شبکه را معین می‌کند .با توجه به اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه های توزیع، یکی از ملزومات اساسی برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه توزیع علاوه بر محدودیت‌های تنظیم ولتاژ و کیفیت توان، مقدار کلی سطح اتصال کوتاه میباشد، که این سطح اتصال کوتاه ترکیبی از سهم اتصال کوتاه ناشی از شبکه بالا دستی و منبع تولید پراکنده میباشد، که در کل باید کمتر از مقادیر طراحی شده برای شبکه باشد. این محدودیت اغلب فاکتور بازدارنده اصلی برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه های موجود میباشد. محاسبات اتصال کوتاه برای انتخاب بریکرها و هماهنگی بین وسایل حفاظتی مطابق با دستورالعمل های بین المللی انتشار یافته انجام می‌پذیرد.[۶و۷و۸]

۲-۲-۱ تعاریف جریان اتصال کوتاه

۲-۲-۱-۱ جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه

جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه، I_k'' مقدار موثر جزء متقارن ac جریان اتصال کوتاه است. کوتاه متقارن اولیه، S_k'' که بعنوان سطح خطا شناخته می شود بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\boldsymbol{S_k'' = \sqrt{3}\, I_k''\, U_n} \qquad (۱-۲)$$

که در آن $\boldsymbol{U_n}$ ولتاژ نامی در محل خطا می باشد.

۲-۲-۱-۲ پیک جریان اتصال کوتاه

پیک جریان اتصال کوتاه، i_p، بوسیله ماکزیمم مقدار لحظه ای جریان خطا مشخص می‌شود:

$$i_p = k\sqrt{2}\, \boldsymbol{I_k''} \qquad (۲-۲)$$

که فاکتور K بوسیله رابطه زیر مشخص می شود:

$$K = 1.02 + 0.98\, e^{\frac{-R}{X}} \qquad (۳-۲)$$

که در این رابطه ، R و X بترتیب قسمت‌های حقیقی و موهومی امپدانس معادل اتصال کوتاه Z_k در محل اتصال کوتاه می‌باشند.

۲-۲-۱-۳ جزء غیر نوسانی نزولی جریان اتصال کوتاه

جزء غیر نوسانی نزولی جریان اتصال کوتاه، i_{dc}، بوسیله میانگین بین بالا و پایین پوش جریان اتصال کوتاه مشخص می‌شود.

$$i_{dc} = \sqrt{2}\ I_k''\ e^{2\pi f t \frac{-R}{X}} \qquad (۴-۲)$$

که در آن f فرکانس نامی، t زمان و R و X نیز همانند رابطه قبل می‌باشد.

۲-۲-۱-۴ جریان قطع متقارن اتصال کوتاه

جریان قطع متقارن اتصال کوتاه، I_b ، به صورت مقدار موثر انتگرال جزء ac جریان اتصال کوتاه تعریف می‌شود. برای خطاهای دور از ژنراتور I_b ، مساوی با I_k'' تعریف می‌شود .در مواردی که خطا نزدیک ژنراتور اتفاق می‌افتد $I_b = \mu I_k''$ تعریف میشود که μ بصورت نسبت $\frac{I_k''}{I_{rG}}$ تعریف می‌شود که I_{rG} جریان نامی ماشین سنکرون می‌باشد.[۶]

۲-۲-۱-۵ جریان اتصال کوتاه ماندگار

جریان اتصال کوتاه ماندگار، ، I_k به صورت مقدار موثر جریان در حالتی که جزء گذرا جریان از بین رفته است، تعریف می‌شود .برای ژنراتور داریم:

$$I_{k\,max} = \lambda_{max}\, I_{rG} \qquad (۵-۲)$$

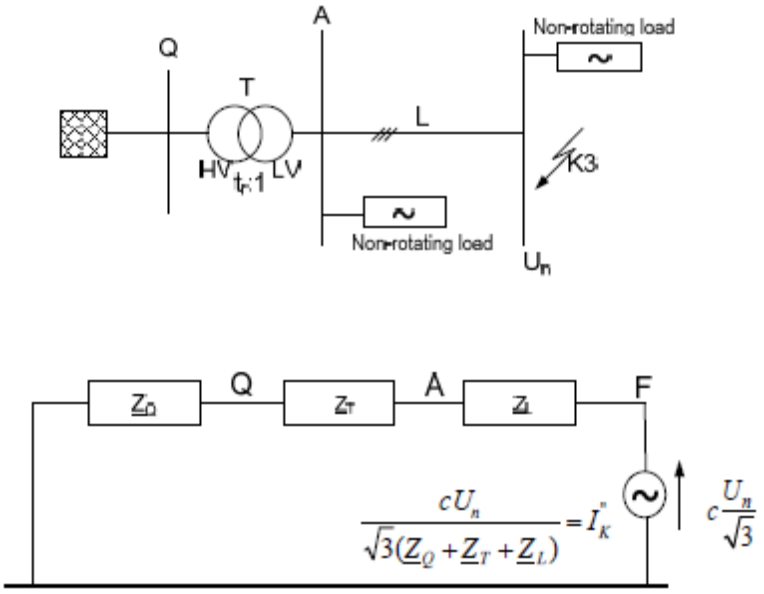
که مقدار فاکتور λ_{max} از روی نمودار های مشخصی بدست می‌آید.

۲-۲-۲ محاسبه جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه

محاسبه جریان های اتصال کوتاه مختلف که در بخش قبل تعریف شده‌اند بر اساس نتیجه محاسبه جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه I_k'' انجام می‌پذیرد. در روش محاسبات بر اساس استاندارد IEC60909، جریان‌ها در محل خطای اتصال کوتاه، با استفاده از منبع ولتاژ معادل که به صورت $\frac{CU_n}{\sqrt{3}}$ تعریف می‌شود، بدست می‌آید. که این منبع به صورت ولتاژ یک منبع ایده آل که در محل خطای اتصال کوتاه در سیستم توالی مثبت قرار دارد در حالتی که کلیه دیگر منابع اتصال کوتاه شده‌اند، نشان داده می‌شود. شکل (۲-۱) روش منبع ولتاژ معادل توضیح داده شده را نشان می‌دهد. فاکتور ولتاژ C، برای تغییرات ولتاژ سیستم در نظر گرفته شده است .هنگامی که جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن، جریان متقارن اولیه بوسیله رابطه (۲-۶) محاسبه می‌شود. [۶و۹]

$$I_k'' = \frac{CU_n}{\sqrt{3}\, Z_K} \qquad (۶-۲)$$

جایی که Z_K دامنه امپدانس معادل اتصال کوتاه Z_K (در حقیقت همان امپدانس تونن می‌باشد) ناشی از شبکه بالا دستی در محل اتصال کوتاه می باشد. در موارد مربوط به اتصا ل کوتاه های نامتقارن، محاسبات با استفاده از روش مولفه‌های متقارن انجام می‌پذیرد. نوع خطای که در نتیجه آن بالاترین جریان اتصال کوتاه بوجود می‌آید به امپدانس های توالی Z_0 و Z_1 و Z_2 در محل خطا بستگی دارد.



شکل (۲-۱). نمایش روش منبع ولتاژ معادل

۲-۲-۳ امپدانس های اتصال کوتاه

همانطور که قبلاً اشاره شد، منبع ولتاژ معادل $\frac{CU_n}{\sqrt{3}}$ تنها منبع موجود در سیستم است و شبکه بالا دستی و همه ماشین های سنکرون و آسنکرون سیستم با امپدان س داخلی شان جایگزین شده اند .قابل ذکر است که در فرمول های نوشته شده در پایین، زیر نویسهای M,G,T,Q بترتیب برای شبکه، ترانسفورمر، ژنراتور سنکرون و موتور آسنکرون استفاده شده است .زیرنویس‌های n و r بترتیب برای مقادیر نامی و مجاز استفاده می‌شود .زیر نویس های t برای مقادیری می‌باشدکه به سطح ولتاژ محل خطا ارجاع داده شده‌اند .امپدانس $Z_Q = R_Q + JX_Q$ ناشی از شبکه بالا دستی در نقطه اتصال به فیدر که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است، بوسیله جریان مجاز در این نقطه مشخص می‌شود. [۶و۹]

$$Z_Q = \frac{CU_{nQ}}{\sqrt{3}\, I''_{KQ}} \qquad (۷-۲)$$

برای شبکه‌هایی با ولتاژ نامی بالاتر از ۳۵kv استاندارد IEC60909 پیشنهاد می‌دهد که مقدار R_Q مساوی صفر در نظر گرفته شود و برای دیگر سطوح ولتاژ $\frac{R_Q}{X_Q} = 0.1$ فرض مناسبی می‌باشد.

امپدانس اتصال کوتاه $Z_Q = R_Q + JX_Q$ ناشی از ترانسفورمر با و بدون تپ چنجر با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_T = \frac{U_{Kr}\ U_{rT}^2}{100\ S_{rT}} \qquad (۸-۲)$$

$$R_T = \frac{U_{Rr}\ U_{rT}^2}{100\ S_{rT}} = \frac{P_{KrT}}{3I_{rT}^2} \qquad (۹-۲)$$

$$X_T = \sqrt{(Z_T^2 - R_T^2)} \qquad (۱۰-۲)$$

جایی که U_{Kr} ولتاژ اتصال کوتاه تراسفورماتور، U_{Rr} جزء مقاومتی ولتاژ اتصال کوتاه و P_{KrT} تلفات سیم پیچ‌های ترانسفورماتور در جریان مجاز می باشد .قابل ذکر است که این روابط برای محاسبه امپدانس راکتورهای محدودکننده جریان اتصال کوتاه نیز استفاده می‌شود امپدانس $\mathrm{Z}_l = R_l + JX_l$ ناشی از خطوط هوایی و کابلها بوسیله اطلاعات آرایش خطوط بدست می آید و همانطور که توضیح داده شد ژنراتورهای سنکرون با امپدانس داخلی شان جایگزین می‌شوند. [۶و۹]

$$Z_G = R_G + JX''_d \qquad (۹-۲)$$

که در معادله بالا X''_d راکتانس زیر گذرای ژنراتور می‌باشد.

برای واحد های تولیدی با ژنراتو رهای سنکرون که از طریق ترانسفورمر به شبکه متصل شده‌اند، امپدانس به سمت فشار قوی ارجاع داده می‌شود.

$$Z_s = t_r^2\, Z_G + Z_{TGV} \qquad (۱۲-۲)$$

که در آن t_r نسبت تبدیل ترانس است.

امپدانس $Z_M = R_M + JX_M$ ناشی از موتورهای آسنکرون بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$Z_M = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \frac{U_{rM}}{\sqrt{3}\, I_{rM}} = \frac{1}{\frac{I_{LR}}{I_{rM}}} \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \qquad (۱۳-۲)$$

که در آن $\frac{I_{LR}}{I_{rM}}$ نسبت جریان روتور قفل شده به جریان مجاز موتور می‌باشد .نسبت $\frac{R_M}{X_M}$ از اطلاعات مدار معادل بدست می آید. همچنین قابل ذکر است هنگامی که سطوح ولتاژ متنوعی در شبکه موجود می‌باشد ولتاژها، جریان‌ها و امپدانس‌های شبکه به سطح ولتاژ در محل اتصال کوتاه (با استفاده از نسبت تبدیل ترانس t_r) تبدیل می‌شوند. [۶و۷و۸]

۲-۲-۴ فاکتورهای تصحیح

به منظور جبران فرضیات ساده سازی که در محاسبات جریان اتصال کوتاه استفاده می شود، استاندارد IEC60909 فاکتور های تصحیح امپدانس را برای ترانسفورمرها K_G، منابع سنکرون K_G، شبکه بالا دستی K_S و K_{so}، پیشنهاد می‌دهد. [۶]

$$K_T = 0.95 \frac{C_{max}}{1+0.6\, X_T} \qquad (۱۴-۲)$$

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}^2} \frac{C_{max}}{1+\sin(\emptyset_{rG}) X_d''} \qquad (۱۵-۲)$$

$$K_S = \frac{U_{nQ}^2}{U_{rG}^2} \frac{U_{rTLV}^2}{U_{rTHV}^2} \frac{C_{max}}{1+ \sin(\emptyset_{rG})|X_d'' - x_T|} \qquad (۱۶-۲)$$

$$K_{so} = \frac{U_{nQ}}{U_{rG}\,(1+P_G)} . \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} . (1 \pm P_T) . \frac{C_{max}}{1+\sin(\emptyset_{rG}) X_d''} \qquad (۱۷-۲)$$

معادلات (۲-۱۶) و (۲-۱۷) برای پست های فشار متوسط با ترانسفورمرهای مجهز شده به تپ چنجرهای زیربار و بی بار استفاده می‌شود .فاکتور ولتاژ C_{max} در معادلات (۲-۱۴) و (۲-۱۵) مطابق با ولتاژ مجاز

تجهیزات تعیین می‌گردد. در معادلات (۲-۱۵) الی (۲-۱۷) $\sin(\emptyset)$ برای ضریب توان پیش فاز ژنراتور، مثبت می‌باشد. [۶]

۲-۳ محاسبه سطح خطا در شبکه با حضور منبع تولید پراکنده

در شبکه‌های توزیع در حضور منبع تولید پراکنده، در هر نقطه از شبکه جریان اتصال کوتاه بوجود آمده نباید از ظرفیت اتصال کوتاه طراحی شده تجاوز نمایند .در شبکه‌های شعاعی که بوسیله ترانسفورمرهای فشار متوسط به فشار ضعیف تغذیه می‌شوند این شرایط باید در باس های فشار ضعیف پست بررسی شوند چرا که شبکه بالا دستی سهم برجسته ای از خطا را تولید می‌کند، که این سهم از خطا به سرعت با حرکت به سمت انتهای شبکه به علت اضافه شدن امپدانس سری خط ها کاهش می‌یابد .بنابراین محاسبات اتصال کوتاه معمولاً در باس بار ثانویه انجام می‌پذیرد، که سطح خطای بوجود آمده مجموع ماکزیمم جریان خطای ناشی از شبکه بالا دستی (که از طریق ترانس کاهنده به شبکه توزیع وصل شده است) و ژنراتورهای گوناگونی است که به شبکه توزیع وصل شده است .سهم خطای شبکه بالا دستی طبق استاندارد IEC60909 براحتی محاسبه می‌شود اما متاسفانه در استاندارد IEC60909 در مورد سهم خطای ناشی از منابع کوچک تولید پراکنده توضیحی داده نشده است. [۹]

۲-۳-۱ سهم شبکه بالا دستی در خطا

سهم جریان اتصال کوتاه ناشی از شبکه بالا دستی بوسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_K'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}(Z_{Qt}+Z_{Kt})} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\,(\frac{Z_Q}{t_r^2}+K_T\,Z_{TLV})} \qquad (۲-۱۸)$$

که امپدانس Z_Q و Z_T بوسیله معادلات (۲-۷) الی (۲-۱۰) و فاکتور تصحیح K_T بوسیله معادله (۲-۱۴) بدست می‌آید.

۲-۳-۲ سهم منبع تولید پراکنده در خطا

در ده های اخیر، با توجه به نفوذ روز افزون تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع، مطالعات مربوط به سهم خطای ناشی از منابع تولید پراکنده در سطح جریان اتصال کوتاه اهمیت فراوانی پیدا کرده است .استاندارد IEEE 1547 مطالب مفیدی را در مورد اتصال منابع متنوع تولید پراکنده و سهم خطای ناشی از آنها ارائه می‌دهد . در ادامه سهم خطای ناشی از منابع تولید پراکنده که بر اساس تکنولوژی ژنراتورهای سنکرون و توربین‌های بادی سرعت ثابت می‌باشند، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. [۹]

۲-۳-۲-۱ سهم خطای ناشی از ژنراتورهای سنکرون

برای ژنراتورهای سنکرون که مستقیماً به شبکه اتصال پیدا می‌کنند قوانین روشنی در استاندارد IEC60909 وجود دارد .سهم جریان اتصال کوتاه ناشی از منابع تولید پراکنده که بر پایه ژنراتورهای سنکرون می‌باشند بر اساس معادله (۲-۱۹) محاسبه می‌شود.

$$I_K'' = \frac{CU_n}{\sqrt{3}\,(Z_G+Z_T+Z_L+Z_R)} \qquad (۱۹-۲)$$

که همه امپدانس‌ها از جمله ژنراتور (G)، ترانسفورمر (T)، خطوط ارتباطی (L) و راکتور سری (اگر وجود داشته باشد) به ولتاژ نامی در محل خطا ارجاع داده شده‌اند .برای ژنراتور های که مستقیماً به شبکه اتصال پیدا می‌کنند معادلات (۲-۱۱) و (۲-۱۵) برای امپدانس ژنراتور و برای فاکتور تصحیح K_G استفاده می شود .در استاندارد IEC60909 برای ژنراتورهای با ولتا ژ زیر 1KV رابطه بین مقاومت و راکتانس زیرگذرای ژنراتور به صورت $R_G = 0.07X_d''$ در نظر گرفته می‌شود و برای ژنراتورهای با ولتاژ بالای 1KV این رابطه به صورت $R_G = 0.15X_d''$ بیان می گردد .اگر ژنراتور از طریق یک واحد ترانسفورمر به شبکه اتصال پیدا کند معادلات (۲-۱۲) و (۲-۱۷) به کار گرفته می‌شود .البته در شرایط خاصی که اطلاعات کافی وجود نداشته باشد می‌توان P_G و P_T را مساوی صفر در نظر گرفت. [۹]

۲-۳-۲-۲ سهم خطای ناشی از ژنراتورهای آسنکرون

از توربین‌های بادی سرعت ثابت می‌توان بعنوان بهترین مثال برای استفاده از ژنراتورهای آسنکرون نام برد، در این نوع از توربین‌های بادی علیرغم تغییر در سرعت باد، سرعت شفت توربین بادی همواره ثاب می‌باشد .جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه یک ژنراتور آسنکرون بوسیله رابطه (۲-۱۹) بیان می‌گردد .لازم

به ذکر است که در استاندارد IEC60909 فقط موتورهای آسنکرون در نظر گرفته شده‌اند و راهنمای برای محاسبه جریان خطا در ژنراتورهای آسنکرون ارائه نشده است ولی مفهوم محاسبه در ژنراتو رهای آسنکرون نیز همانند موتورهای آسنکرون بوده و در مورد این ژنراتو رها قابل استفاده می‌باشد .البته هنگامی که اطلاعات کافی در مورد ژنراتور وجود ندارد با توجه به اندازه ژنراتور، استفاده از رابطه $\frac{I_{LR}}{L_{rG}} = 8$ و $R_G = (0.1 - 0.15)X_G$ برای بدست آوردن امپدانس ژنراتور پیشنهاد می‌گردد. هنگامی که از ترانسفورماتور برای اتصال ژنراتور به شبکه استفاده می‌شود معادلات (۲-۸) الی (۲-۱۰) و معادله (۲-۱۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد. [۹]

۲-۴ روشهای کاهش سطح اتصال کوتاه:

با توجه به شناخت عوامل عمده افزایش سطوح اتصال کوتاه به بررسی روش‌های کاهش آن می‌پردازیم. خطوط اساسی کاهش سطح اتصال کوتاه را می‌توان بشرح زیر طبقه‌بندی کرد. [۳و۴]

۲-۴-۱ استفاده از تجهیزات با ظرفیت مناسب:

در مرحله‌ای که قدرت تجهیزات، از سطوح اتصال کوتاه کمتر می‌گردد، می‌توان اقدام به تعویض آن نمود و تجهیزاتی با قدرت بیشتر نصب کرد و همچنین با در نظر داشتن سطوح اتصال کوتاه، آینده شبکه که برای فاصله زمانی مناسبی محاسبه گردیده، ظرفیت تجهیزات مورد نظر را انتخاب نمود.

کاربرد این روش در شبکه‌هایی که زیاد گسترده نیستند معمول است و حتی در مورد شبکه‌های بسیار بزرگ هم تاجایی که امکانات تکنولوژی اجازه می‌دهد محدودیتی وجود ندارد ولی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. [۳و۴]

۲-۴-۲ در نظر گرفتن کاهش جریان اتصال کوتاه در طراحی با احتساب معیار لازم برای قابلیت اطمینان، پایداری و انعطاف‌پذیری سیستم:

منظور آن است که طرح پستها و اتصالات به‌گونه‌ای باشند که قابلیت مانور فراوان داشته باشند و در شرایط به خصوصی بتوان امکانات تغذیه مناسب را از طریق آنها برقرار ساخت و یا اینکه راکتور سری که در