

بسمه تعالی
جمهوری اسلامی ایران
وزارت نیرو

شرکت سهامی تولید و انتقال نیروی برق ایران
(توانیر)

معاونت تحقیقات و تکنولوژی
دفتر استانداردها

استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی برق ایران
دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و
بایرداری خطوط انتقال نیرو



نگارش اول فروردین ۱۳۷۸

ندوین کننده: شرکت مشانیر - گروه تحقیقات و استاندارد

آدرس: میدان ونک - خیابان برزیل - شرکت توانیر - دفتر استاندارد صندوق پستی

۸۷۹۷۷۶۷ فاکس ۸۷۹۷۷۴۰ تلفن ۱۴۱۵۵-۶۴۶۷



کاربرد
مطالعات سیستم
در
طراحی خطوط انتقال نیرو



فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۱ | هدف و کاربرد |
| ۳ | مقدمه |
| ۶ | بررسی پخش بار |
| ۱۲ | توان عبوری از خط |
| ۱۳ | استفاده از پخش بار در انتخاب هادی اقتصادی |
| ۱۴ | زوایای بار باسهای مختلف شبکه |
| ۱۵ | روشهای محاسبات - پخش بار و پارامترهای مورد استفاده |
| ۱۷ | نتیجه گیری |
| ۱۸ | کاربرد محاسبات اتصال کوتاه در طراحی خطوط |
| ۱۹ | اتصال کوتاه - انواع آن مفروضات اولیه و روشهای محاسبه |
| ۲۸ | استفاده از استاندارد برای انجام اتصال کوتاه |
| ۲۹ | پارامترهای خط مورد استفاده در محاسبات اتصال کوتاه |
| ۳۰ | نتایج اتصال کوتاه و کاربرد آنها در طراحی خطوط |
| ۳۶ | انتخاب سیم محافظ |
| ۳۷ | جمع بندی |
| ۳۹ | پایداری خطوط |
| ۴۴ | بررسی پایداری گذاری سیستم |
| ۴۵ | پایداری دینامیکی |
| ۴۶ | نتیجه گیری |
| ۴۷ | مراجع مورد استفاده |



بنام خدا

کاربرد مطالعات سیستم در طراحی خطوط انتقال نیرو

هدف و کاربرد

هدف از تهیه این مبحث از دستورالعمل استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیرو فراهم آوردن راهنمایی خلاصه و حتی المقدور جامع برای بررسی و کاربرد مطالعات سیستم شامل پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری سیستم در طراحی خطوط انتقال نیرو میباشد. بهمین دلیل سعی بر این بوده تا ضمن پرهیز از حاشیه پردازی و ارائه مطالبی که محل و مبحث جداگانه ای می طلبد، مطالب مختصری درباره تعاریف و مفاهیم مورد استفاده در طراحی خطوط انتقال نیرو و نحوه استفاده از نتایج حاصل از مطالعات فوق الذکر در حد برآوردن نیاز طراحی خط ارائه گردد. کل این مبحث را همانطور که اشاره شد میتوان به سه بخش زیر تقسیم کرد :

۱- بخش بار الکتریکی :

در این بخش ضمن ارائه تعاریف اولیه و پارامترهای آن روش طرح و اجرای پخش بار، نحوه ارائه و استفاده از نتایج آن بررسی می گردد.

۲- اتصال کوتاه :

در این قسمت ضمن بررسی انواع خطاها در شبکه ها و خطوط انتقال نیرو نحوه بدست آوردن نتایج

d:\wpfn\khat\report\paydari.75

| مرحله | صفحه |
|------------------------------------|---|
| ح - ۴ - ۹ | ۱ |
| نوابیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| | مناخیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

و کاربرد آن در طراحی خطوط ارائه میشود.

۳- پایداری خطوط انتقال :

در این بخش پس از تعریف مفاهیم اولیه، بررسی پایداری خط انتقال نیروی فشارقوی و شبکه الکتریکی مربوط به آن انجام گرفته و در موارد مختلف نحوه استفاده از نتایج بررسی پایداری و چاره جوئی های ممکن در این رابطه مورد بحث قرار می گیرد.

مجدداً لازم به توضیح است که در تمامی موارد بالا سعی بر این است که مطالب به صورت کاملاً مختصراً مفید ارائه شود و به استفاده کننده از آن این امکان را بدهد تا در هنگام طراحی خطوط نکاتی که در زمینه های فوق باید مورد توجه قرار گیرد را بررسی نموده و از نتایج آن در انجام طراحی اصولی خط انتقال بهره گیرد.

d:\wpfinkhat report\paydan 75

| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات بخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ۹ - ۴ - ج | صفحه | ۲ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

مقدمه

يك سيستم توان الكتریکی یکی از ابزار تبدیل و انتقال انرژی میباشد. تنها وسیله انتقال انرژی الكتریکی توسط خط انتقال میباشد و از این نظر خط انتقال نیروی برق قابل رقابت با خطوط راه آهن و کشتیرانی در انتقال انرژی است. علیرغم ایجاد و توسعه نیروگاههای اتمی که در مراکز بار ایجاد شده و هزینه سوخت کمتری نسبت به هزینه سوخت فسیلی نیروگاههای بخاری و گازی دارند احداث خطوط انتقال نیرو رو به افزایش می باشد.

يك سيستم قدرت الكتریکی شامل سه جزء اصلی است ، مراکز تولید، سيستم انتقال و سيستم توزیع، خطوط انتقال نیرو که مراکز تولید را به سيستمهای توزیع وصل می کند. محل نیروگاههای آبی ثابت بوده ولی نیروگاههای با سوخت فسیلی محلهاى متغییری می تواند داشته باشد. نیروگاههای بخاری نیز معمولاً بعنوان مرکز تولید انرژی دائمی نزدیک مراکز بار عمده نصب میشود. بنابراین نیروگاههای آبی نیاز به خطوط انتقال طولانی دارند.

رشد بار معمولاً تحت کنترل شرکت برق نمی باشد ولی فراهم بودن برق ارزان اغلب می تواند رشد بار را در بعضی مصرف کننده ها افزایش دهد.

یکی از وظایف طراحی سيستم قدرت الكتریکی پیش بینی تقاضای مصرف در آینده برای انرژی الكتریکی می باشد که بتواند محل نیروگاهها را مناسب انتخاب کرده و بررسی هماهنگی لازم را در مورد مراکز تولید و سيستم های انتقال از نظر قابلیت انعطاف و اعتماد بعمل آورد.

برنامه ریزی برای بهره برداری، اصلاح و توسعه يك مرکز تولید و سيستم انتقال نیاز به مطالعات پخش بار، محاسبات اتصال کوتاه و پایداری دارد.

سراسری کردن مراکز تولید و شبکه های انتقال فشار قوی کشور مسائل و مشکلات جدیدی را بوجود آورد که البته بیشتر آنها با مرور رفع گردیده است. اتصال سراسری شبکه های انتقال مقدار جریان عبوری در موقع

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| مرحله | صفحه |
|------------------------------------|---|
| ح - ۴ - ۹ | ۳ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

اتصال کوتاه دريك سيستم را افزايش مي دهد و نياز به نصب كليد براي قطع چنين جريانهاي بالائي خواهد بود. هرگونه اختلال در يك سيستم ممكن است به ساير سيستم هاي انتقال متصل به شبكه گسترش پيدا كند. همچنين در شبكه هاي سراسري علاوه بر كاردرفرکانس نرمال يكسان، ماشينهاي سنكرون يك سيستم بايد در همان محدوده فرکانس سنكرون ساير سيستمهاي شبكه سراسري باقي بماند.

بنابراين اهميت عمده مطالعات سيستم و پخش بار در برنامه ريزي توسعه آتي سيستمهاي قدرت، همچنين تعيين بهره برداري بهينه از سيستمهاي موجود و بررسي پايداري سنكرون يك سيستم در حالات مختلف كار مراكز توليد و بار ميباشد. بهره برداري بهينه از سيستم تعيين اين مسئله است كه چگونه كل انرژي مورد نياز توليدي در هر لحظه بين مراكز توليد و واحدهاي هريك از مراكز توليد تقسيم شود.

در اين گزارش سعي گرديده است ضمن ارائه شرح مختصري درباره هر يك از مفاهيم و موضوعات فوق الذكر در مورد کاربرد و نحوه استفاده از نتايج مطالعات و بررسيهاي فوق در طراحي خطوط انتقال نيرو مطالبی به شرح ذيل ارائه ميگردد:

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پايداري خطوط انتقال نيرو | |
| ح - ۴ - ۹ | | |
| نواير - معاونت تحقيقات و تكنولوجي | استاندارد جامع مهندسي و طراحي خطوط انتقال نيروى ايران | مشاير - دپارتمان تحقيقات و استاندارد |
| صفحه | ۴ | |

فهرست مطالب

- ۱- بررسی پخش بار
 - ۱-۱- پخش بار، مفروضات، تعاریف و پارامترهای آن
 - ۱-۲- استفاده از نتایج پخش بار در طراحی خطوط انتقال
 - ۱-۳- نتیجه گیری

d:\wpfi\khat\report\paydari 75

| مرحله | صفحه |
|---|---------------------------------------|
| ۹ - ۴ - ج | ۵ |
| نواپر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | مغانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | |

۱- بررسی پخش بار

پخش بار در يك شبکه الكتريكي عبارت است از میزان ولتاژ ، زاویه بار، توان اکتیو (حقیقی) توان راکتیو (مجازی)، جریان و ضریب قدرت در تمام نقاط شبکه که شامل باسبارها و اتصالات (خطوط) بین آنها میباشد.

باتوجه به تعریف بالا می توان به اهمیت بررسی پخش بار الكتريكي در برنامه ریزی سیستمهای قدرت و بهره برداری از آنها پی برد. اصولاً برنامه ریزی برای آینده يك شبکه الكتريكي و برآورد نیروگاهها، پستها، خطوط الكتريكي و سایر اجزای شبکه قدرت براساس پیش بینی بارهای مصرفی مستلزم انجام بررسی پخش بار الكتريكي میباشد و از نتایج این بررسی باید به عنوان اطلاعات مورد نیاز در طراحی اجزای نامبرده استفاده نمود. بنابراین انجام محاسبات پخش بارچه در شبکه های موجود و چه در شبکه های پیش بینی شده برای آینده ضروری بوده و تعیین کننده مشخصات اجزای الكتريكي شبکه، از جمله خطوط انتقال انرژی الكتريكي است.

درمورد خطوط انتقال بررسی پخش بار برای مشخص ساختن میزان توان انتقالی و جریان خط در هنگام بهره برداری از خط و پس از آن باتوجه به تغییرات انجام شده در مشخصات شبکه الكتريكي (به علت گسترش آن) از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

باتوجه به مطالب بالا، پیش بینی و برنامه ریزی صحیح برای گسترش شبکه که طراحی خط بر پایه آن انجام می گیرد تأثیر قابل توجهی در طراحی درست خط خواهد داشت. به عبارت دیگر خط انتقال باید برپایه مفروضات صحیحی طراحی شود تا در هنگام بهره برداری طراحی انجام شده دارای کارایی لازم بوده و خط تحت شرایطی که برای آن به صورت بهینه طراحی شده مورد بهره برداری قرارگیرد.

۱-۱- پخش بار، مفروضات، تعاریف و پارامترهای آن

از آنجائیکه برای استفاده از نتایج پخش بار، آشنایی با مفاهیم و مفروضات اولیه در محاسبات مربوطه ضروری می باشد، در این بخش ضمن مطرح کردن آنها به نحوه استفاده از آنها در انجام محاسبات مربوطه و کاربردهای بعدی آنها پرداخته میشود.

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| مرحله | صفحه |
|--|---|
| ح - ۴ - ۹ | ۶ |
| دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | |

الف - دسته بندی باسبارهای شبکه در بررسی پخش بار.

هدف محاسبات پخش بار معین ساختن کمیات الکتریکی ذکر شده در بخش قبل (توان، ولتاژ، زاویه آن) در هر نقطه و اتصال از شبکه میباشد. به همین منظور محل نقاط گره شبکه، شامل باسبارهای مصرف و انتقال (یستهای توزیع و فوق توزیع) و باسبارهای تولید (نیروگاهها و یستهای مربوطه) از دیدگاه کمیات معلوم و مجهول آنها به سه نوع کلی دسته بندی می شوند:



باس جبرانگر^۱ (SWING BUS یا SLACK BUS):

در هر شبکه الکتریکی در نظر گرفتن یک باس بعنوان باس مرجع ولتاژ برای حل مطالعات شبکه و تعیین مقادیر مورد نیاز لازم است. وظیفه این باس که ولتاژ و زاویه بار^۲ آن ثابت و بعنوان مرجع در نظر گرفته می شود (معمولا " $1 < 0$ ") تأمین توان مصرف شده در شبکه میباشد. میزان تلفات توان الکتریکی در انتهای محاسبات مشخص می گردد و بنابراین در این باس همواره میزان ولتاژ و زاویه آن مشخص بوده و کمیات مجهول توان راکتیو و توان حقیقی تولید شده توسط آن میباشد. در شبکه سراسری ایران باس نیروگاه سد دز به عنوان باس جبرانگر انتخاب شده است و ولتاژ و زاویه ولتاژ سایر باسها در مقایسه با آن محاسبه میشود.

باس بارکنترل ولتاژ (VOLTAGE CONTROLLED BUS یا P.V BUS):

۱. باس مرجع از جهتی با توجه به کاربرد آن می تواند معادل فارسی برای اصطلاح اصلی آن باشد ولی بعلم اینکه از باس زمین نیز بعنوان باس مرجع یاد میشود باس جبرانگر بعنوان معادل فارسی پیشنهاد شود.

۲. LOAD ANGLE

| مرحله | صفحه |
|------------------------------------|---|
| ۹ - ۴ - ج | ۷ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

در این نوع باس ولتاژ توان اکتیو (حقیقی) باس مشخص می باشد و مقادیر مجهول، توان راکتیو (مجازی) و زاویه ولتاژ (زاویه بار) هستند، معمولاً "باسهای نیروگاهی از این نوع میباشند.

- باس کنترل توان راکتیو با شینه بار (LOAD BUS یا PQ BUS)

در این نوع باس توان اکتیو و راکتیو مشخص بوده و مقادیر مجهول ولتاژ و زاویه آن میباشند. سیستمهای توزیع و فوق توزیع به همراه بانکهای خازنی و راکتورهای مختلف خود معمولاً از این نوع هستند.

لازم به تذکر است که نوع باس معمولاً "باتوجه به محدودیتهای عملی موجود تعیین میشود. مثلاً" نیروگاهها تنها تا هنگامیکه توان راکتیو قابل تولید آنها اجازه می دهد می توانند به عنوان باس ولتاژ در نظر گرفته شوند و هرگاه توان راکتیو مورد تقاضای آنها از مقدار معین شده بیشتر باشد باید حداکثر توان راکتیو را در نظر گرفت و آنها را به صورت یک شینه بار فرض نمود.

نکته دیگری که ذکر آن مفید میباشد این است که معمولاً "باتوجه به سطوح مختلف ولتاژ در شبکه و همچنین محدودیتهای محاسباتی در ارقام بسیار بزرگ برای انجام محاسبات پخش بار از سیستم به واحد درآمد (Permit System) استفاده میشود پس از انجام محاسبات مقدار واقعی کمیات بر اساس مقادیر پریونیت آنها بدست می آید.

ب - فرض متعادل بودن شبکه در بررسی پخش بار :

باتوجه به پیچیدگی محاسبات برای شبکه های نامتقارن و متعادل بودن تقریبی توزیع بار در شبکه های قدرت، فرض متعادل بودن سیستم سه فاز فرضی منطقی و قابل استفاده میباشد. باید این نکته را در نظر گرفت که متعادل بودن سیستم در این حالت شامل یکسان بودن ولتاژ، توان و زاویه هر سه فاز در تمامی باسبارها و همچنین متعادل و متقارن بودن تمام اجزای شبکه از جمله خطوط انتقال نیرو میباشد.

بنابراین در این بررسیها پارامترهای مؤلفه مثبت اجزای شبکه بعنوان داده مورد استفاده قرار می

d:\wpf\ir\khar\report\paydari.75

| مرحله | صفحه |
|------------------------------------|---|
| ح - ۴ - ۹ | ۸ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| | مشاورین - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

گیرد و نتایج بدست آمده نیز برای مؤلفه مثبت و با فرض تقارن شبکه برای هر سه فاز مورد استفاده قرار می گیرد.

ج - مهمترین نکته در بررسی پخش بار فرض حالت ماندگار^۲ برای شبکه میباشد. یعنی محاسبات پخش بار همواره با فرض در حالت ماندگار بودن سیستم صورت می پذیرد و نتایج آن نیز برای حالت کارعادی و ماندگار شبکه معتبر است نه در حالت اضطراری و گذرای سیستم، مانند بروز خطا و تغییرات بزرگ در بار و تولید انرژی.

د - ذکر این نکته خالی از فایده نخواهد بود که محاسبات پخش بار برای یک ترکیب مشخص شبکه الکتریکی انجام می گیرد و بدیهی است که هر گونه تغییر در اجزای شبکه مانند اضافه شدن نیروگاه، خط انتقال، راکتور، پست و سایر اجزای سیستم، انجام مجدد محاسبات پخش بار در شبکه، با مشخصات جدید را طلب می کند.

ه - برای انجام محاسبات پخش بار پارامترهای الکتریکی اجزای شبکه باید معین باشند. بنابراین برای انجام محاسبات مذکور مشخصات الکتریکی توالی مثبت خط فشار قوی مورد طراحی بعنوان داده اولیه نیاز است. از آنجائیکه مقدار دقیق این پارامترها تاپس از طراحی نهایی خط مشخص نخواهد شد، باید از مقادیر نمونه (TYPICAL VALUES) هر خط استفاده نمود.

این مقادیر نمونه می توانند از بین مشخصات الکتریکی خطوط مشابه موجود در شبکه انتخاب شوند. استفاده از مقادیر مذکور با توجه به نزدیک بودن پارامترهای الکتریکی خطوط انتقال در سطح ولتاژ یکسان تخمینی مناسب است و می توان پس از پایان طراحی با در نظر گرفتن مقادیر واقعی خط طراحی شده پخش بار را مجدداً انجام داد و نتایج را با محاسبات قبلی مقایسه و در صورت لزوم اصلاح نمود.

STEADY STATE

d:\wpfm\khat\report\paydari.75

| مرحله | صفحه |
|---|---------------------------------------|
| ۹ - ۴ - ج | ۹ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | |

براساس مفروضات فوق الذکر و روابط الکتریکی حاکم در شبکه ها، محاسبات پخش بار به روشهای عددی انجام می گردد و پس از حل کلیه معادلات شبکه مقادیر زیر بعنوان نتایج محاسبات معین می شوند:

- ولتاژ و زاویه باربرای شینه های بار (PQ BUS)
- توان راکتیو(مجازی) و زاویه بار برای باسهای کنترل ولتاژ (P.V. BUS)
- توان اکتیو و راکتیو تولیدی توسط باس جبرانگر (Slack Bus) که در واقع برای جبران توان اکتیو تلف شده و توان راکتیو ذخیره شده در خطوط انتقال کل شبکه میباشد.
باتوجه به کمیات بدست آمده می توان سایر اطلاعات مورد نیاز را به شرح زیر بدست آورد :

- ۱- توانهای اکتیو (حقیقی) و راکتیو (مجازی) گذرنده از خطوط وجهت انتقال آنها
- ۲- جریانهای گذرنده از خطوط
- ۳- توانهای تلف شده در خطوط انتقال

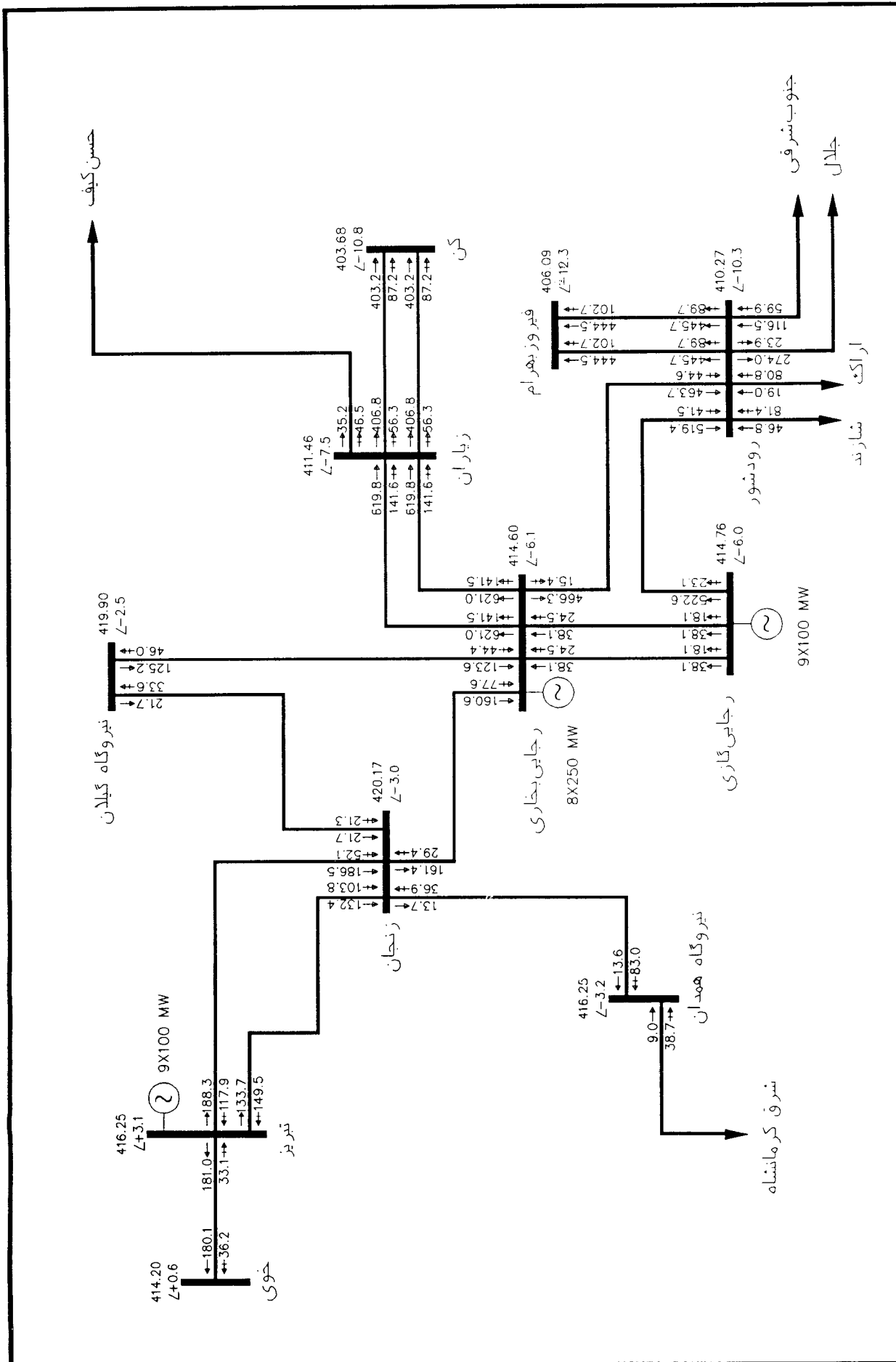
این اطلاعات می توانند بصورت گرافیکی بر روی دیاگرام تک خطی شبکه مانند شکل ۱ ارائه شوند. توضیحات لازم برای مشخص ترشدن موضوع در زیر اشکال آمده است.

۱.۲ استفاده از نتایج پخش بار در طراحی خطوط انتقال

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد برای طراحی يك خط میزان بار انتقالی آن در هنگامیکه به شبکه متصل می گردد و پس از بهره برداری از آن با پیش بینی تغییراتی که در شبکه بر طبق برنامه ریزی صورت می گیرد انجام پذیرد. باتوجه به اینکه برای گسترش شبکه در آینده می توان بیش از يك آلترناتیو در نظر گرفت، باید در هنگام انجام محاسبات پخش بار برای استفاده از آن در طراحی خط، تمامی گزینه های

d:\wpfu\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۱۰ | | ح - ۴ - ۹ |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |



ممکن برای گسترش شبکه در طول عمر مفید خط را در نظر گرفت. علاوه بر آن شرایط مختلف اضطراری که می توانند بر اثر بروز خطا در سیستم بوجود آمده و باعث تغییرات در شبکه گردند باید در نظر گرفته شده و برای آن شرایط پخش بار انجام گیرد. البته باتوجه به محدود بودن این حالات باید آنهایی را در نظر گرفت که تغییرات انجام شده در شبکه در آن حالات باعث افزایش بار خط مورد طراحی گردند. این امر با خطر تعیین حداکثر میزان بار عبوری از خط در حالت اضطراری انجام می پذیرد.

نکته دیگری که می توان به آن اشاره نمود و پیش بینی خط برای کار در دو سطح ولتاژ مختلف می باشد که البته از لحاظ اصول طراحی امر نامطلوب است، اما در بعضی موارد باتوجه به مسائل اجرایی و برنامه ریزی توسط دستگاه سیاستگذار امکان اجرایی آن وجود دارد. در این حالت سنجش بار جهت طراحی خط باید با در نظر گرفتن سطح ولتاژ بالاتر انجام پذیرد. اما در هنگام بهره برداری با سطح ولتاژ پائین تر و محاسبه سایر پارامترهای شبکه و توانهای انتقالی و رگولاسیون خط باید پخش بار در ولتاژ کاری خط انجام پذیرد.

باتوجه به مطالب گفته شده و پس از انجام بررسیهای پخش بار در حالات مختلف از نتایج این بررسیها می توان در موارد زیر استفاده نمود :

۱-۲-۱ توان عبوری از خط

دانستن میزان توان منتقل شده توسط خط برای تعیین هادی مورد استفاده در خط و بررسیهای اقتصادی لازم ضروری است. معمولاً برای تعیین هادی خط یکی از معیارها حداکثر جریان عبوری از خط می باشد که برای تعیین ظرفیت حرارتی آن لازم است. این مقدار از روی حداکثر توان عبوری از خط قابل محاسبه می باشد. اما مسئله ای که معمولاً در این زمینه بوجود می آید نبودن اطلاعات لازم درباره وضعیت شبکه در تمامی مدت عمر خط میباشد.

بعبارت دیگر اگر خطی برای بهره برداری در يك زمان مشخص در آینده بطور مثال ۵ سال بعد طراحی گردد و هرگاه طول عمر مفید این خط ۲۵ سال در نظر گرفته شود. بدست آوردن توان عبوری از خط در تمامی مدت بهره برداری از آن مستلزم پیش بینی گسترش و تغییرات شبکه تا ۳۰ سال آینده

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ح - ۴ - ۹ | | |
| صفحه | ۱۲ | |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

می باشد که این امر در کشور معمولاً قابل دسترس نیست، در نتیجه در طراحی خطوط معمولاً برای محاسبه حداکثر بار عبوری از خط باید از تخمین استفاده نمود. به این معنی که محاسبات پخش بار برای یک زمان مشخص و با وضعیت پیش بینی شده معین انجام پذیرفته و سپس با استفاده از نتیجه بدست آمده و فرض یک نرخ رشد بار انتقالی برای خط حداکثر بار آن تا انتهای عمر مفیدش محاسبه می گردد. البته این تخمین در بعضی از حالات می تواند منجر به نتایج دور از واقعیتی شود که طراحی یک خط را از حالت بهینه و اصولی دور می سازد. در نتیجه ارجحیت بر پیش بینی نسبتاً دقیق وضعیت شبکه در یک دوره زمانی طولانی میباشد، که این امر به سیاستگزاری و توانایی برنامه ریزی کل سیستم شبکه بستگی دارد.

البته محدود کردن توان انتخابی یک خط توسط دستگاه سیاستگذار و در نظر گرفتن خطی دیگر، در صورت افزایش ظرفیت انتخابی مورد نیاز، مسئله ای است که میتواند به بهینه ساختن طراحی و بهره برداری از خطوط انتقال کمک شایانی بنماید.

در هر صورت برای انجام یک طراحی خوب برآورد فنی - اقتصادی همه جانبه ضروری است. نکته مهم دیگری که به عنوان یک عامل محدود کننده در طراحی میتواند مد نظر قرار گیرد و بخصوص برای خطوط کوتاه حائز اهمیت میگردد محدوده جریانی کلیدهای دوانتهای یک خط میباشد.

به این معنی که هرگاه با استفاده از نتایج پخش بار جریان حداکثر عبوری از خط بدست آمد مقدار این جریان باید با حداکثر جریان قابل تحمل کلیدهای موجود در سطح ولتاژ مورد نظر مقایسه گردد و در صورت بیشتر بودن از آن حدمجاز، محدودیت بوجود آمده برای خط در نظر گرفته شود. لازم به تذکر است که جریان قابل تحمل کلیدهای انتهایی خط ممکن است با توجه محدودیتهای اعمال شده توسط معیارهای دیگر به حدمعینی محدود شود.

۲-۲-۱ استفاده از پخش بار در انتخاب هادی اقتصادی

یکی از نتایجی که پخش بار میتواند همراه داشته باشد جریان عبوری و تلفات اهمی خط مورد طراحی میباشد.

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتمال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ح - ۴ - ۹ | | |
| صفحه | ۱۳ | |
| نویسندگان - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مفاینیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

مقدار این تلفات باتوجه به نوع هادی مورد استفاده در خط متفاوت خواهد بود. در نتیجه به هنگام انتخاب هادی برای خط مورد نظر تلفات ایجاد شده به ازای هر هادی یکی از شاخص هایی است که در بر آورد هزینه های اقتصادی يك خط قابل استفاده است. بطور دقیق تر هرگاه ما تلفات تمام هادیهای که میتوانند برای استفاده در يك خط با سطح ولتاژ معین مورد استفاده قرار گیرند را با استفاده از محاسبات پخش بار در طول عمر مورد نظر گرفته شده برای خط بدست آوریم، میتوانیم هزینه تلفات کل عمر خط را به ازای هر هادی محاسبه کنیم. برای يك مقایسه اقتصادی هزینه تلفات سالیانه باید به ارزش فعلی آن محاسبه شود که این امر باتوجه به روابط موجود در اقتصاد مهندسی انجام پذیر میباشد.

البته مشکل عدم اطلاع از وضعیت شبکه در تمامی طول خط در این قسمت نیز رخ می نماید، که راه حل در نظر گرفتن يك نرخ رشد سالانه برای بار مصرفی و در نتیجه محاسبه جریان عبوری از خط و محاسبه تلفات آن به این موضوع منوط میگردد. همانطور که در قسمت قبل نیز اشاره شد این فرض در حالتی که خط بصورت شعاعی مرکز بار مورد نظر را تغذیه میکند به واقعیت نزدیکتر است و در حالتی که خط مذکور در يك شبکه قرار داشته باشد در بعضی مواقع میتواند به خطای فاحش منجر گردد.

در کنار مطالب ذکر شده باید خاطر نشان ساخت که باتوجه به ماهیت مقایسه ای انتخاب هادی اقتصادی و بطور کلی مقایسه حالات مختلف در طراحی يك خط هرگاه خطای ناشی از يك پارامتر بطوریکسان در يك مقایسه دخالت نماید می توان پذیرفت که میتواند به نتیجه مطلوب منتهی گردد به شرط اینکه مقدار این خطا بسیار زیاد نباشد. در هر صورت استفاده از نتایج محاسبات پخش بار در انتخاب هادی اقتصادی کاربرد بسیار مفیدی دارد و میتوان از آن به عنوان یکی از موارد استفاده محاسبات مذکور در طراحی خط نام برد.^۲

۳-۲-۱ زوایای بار باسهای مختلف شبکه

یکی از نتایج مهمی که پس از محاسبات پخش بار در شبکه بدست می آید، زاویه ولتاژ هر باس

^۲ برای مطالعه بیشتر درباره چگونگی استفاده از نتایج فوق به قسمت انتخاب هادی اقتصادی مراجعه شود.

| | | |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ۹ - ۴ - ج | | |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مثنیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| صفحه | ۱۴ | |

نسبت به باس مرجع ولتاژ یا همان باس جبرانگرمی باشد. این زوایا برای بررسی پایداری حالت ماندگار خط بکارگرفته می شوند که دربخش پایداری تاحدودی به آن پرداخته می شود.

۳-۱- روشهای محاسبات پخش بار و پارامترهای مورد استفاده

بطورعملی محاسبات پخش بار که درواقع حل يك دسته معادلات جبری بطورهمزمان میباشد بوسیله روشهای عددی قابل انجام میباشد. درحل معادلات پخش بار بطور عمده دوروش پایه مطرح میباشند.

۱- روش گوس - سایدل (Gaus - Sidel)

۲- روش نیوتن - رافسن (Newton - Raphson)

البته براساس هرکدام ازهرروشهای فوق روشهای اصلاح شده دیگری که دارای سرعت همگرایی ومشخصه های عملی بهتر یاساده تری میباشند، استخراج شده است ولی دوروش فوق پایه واساس محاسبات پخش بار راتشکیل میدهند وهرکدام دارای نقاط ضعف وقوت مختص خودمیباشند. برای انجام محاسبات برپایه هر يك ازروشهای ذکرشده بطورعمده ازدوماتریس ساخته شده براساس پارامترهای الکتریکی شبکه استفاده میشود:

- ماتریس امپدانس (Z_{bus}) که مرتبه آن بستگی به تعداد گره های موجود درشبکه دارد و با استفاده از مشخصه های الکتریکی اجزای متصل به هرگره ساخته میشود.

- ماتریس ادمیتانس (Y_{bus}) که از مرتبه ماتریس Z_{bus} بوده و براساس ادمیتانس های موجود درشبکه ساخته میشود.

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ح - ۴ - ۹ | | |
| نویسندگان - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشاورین - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| صفحه | ۱۵ | |

ماتریس فوق برای حل معادلات شبکه مورد استفاده قرار میگیرد ولی عموماً " کاربرد Y_{bus} در محاسبات پخش بار بیشتر میباشد که این امر با توجه به نحوه فرموله کردن روشهای موجود برای استفاده در محاسبات کامپیوتری حاصل میگردد.

لازم به تذکر است که اعضا هر دو ماتریس مذکور با استفاده از پارامترهای الکتریکی مؤلفه مثبت اجزاء شبکه بدست می آید. اما با همان روشهای مورد استفاده در تشکیل ماتریس Z_{bus} میتوان ماتریس های مؤلفه صفر و منفی رانیز جهت بکارگیری در محاسبات اتصال کوتاه بوجود آورد که به همراه ماتریس مؤلفه مثبت مبنای محاسبات اتصالات کوتاه قرار میگیرند.
ماتریس های Y_{bus} و Z_{bus} ماتریس های شبکه نامیده میشوند.

بر اساس مطالب ذکر شده پارامترهای مورد نیاز خط جهت انجام محاسبات پخش بار عبارتند از:

- مقاومت خط $(R+)$
- راکتانس خط $(X+)$
- قسمت حقیقی ادمیتانس خط $(G+)$
- قسمت مجازی ادمیتانس خط یا سوپانانس $(B+)$

به عبارت دیگر مجموعه امپدانس خط $(R + jX)$ و ادمیتانس خط $(G + jB)$ در محاسبات پخش بار مورد استفاده قرار میگیرد.

d:\wpfinkhat\report\paydari.75

| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ح - ۴ - ۹ | صفحه | ۱۶ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشابیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

۴-۱- نتیجه گیری

بطور خلاصه از مطالب گفته شده می توان مراحل زیر را بعنوان بررسی پخش بار و استفاده از نتایج آن در طراحی خطوط انتقال دسته بندی نمود :

- ۱- تخمین پارامترهای الکتریکی مؤلفه مثبت خط برای استفاده از آنها در محاسبات پخش بار
- ۲- معین نمودن ترکیب شبکه الکتریکی درحالات عادی و اضطراری و در زمانهای مختلف بهره برداری از خط
- ۳- انجام محاسبات پخش بار برای حالات ذکر شده در بند ۲. (این محاسبات باید توسط نرم افزارهای کامپیوتری خاص این کار انجام پذیرند)
- ۴- بدست آوردن حداکثر توان عبوری از خط برای مقایسه و تعیین حد پایداری حرارتی مناسب درخط مورد نظر
- ۵- بدست آوردن ولتاژها و زوایای ولتاژدوسرخط جهت استفاده در بررسی پایداری ماندگار و رگولاسیون خط .
- ۶- درصورت نیاز پس از طراحی نهایی خط، استفاده از پارامترهای الکتریکی واقعی خط طراحی شده درمحاسبات پخش بار و استفاده از نتایج آن در بند ۵ و سایر موارد مورد استفاده.

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| مرحله | صفحه |
|--|---|
| دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | ۱۷ |
| ۹ - ۴ - ح | |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| | منابیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

۲- کاربرد محاسبات اتصال کوتاه در طراحی خطوط

۲-۱- مقدمه

اصولاً هر سیستم الکتریکی در هنگام کار بععلل مختلفی در معرض بروز خطاها و اتفاقاتی قرار می گیرد که منجر به ایجاد شرایط غیرعادی در کار آن می شوند. این امر طبیعی، در طراحی خطوط، بررسی حالات کار غیرعادی خط و مطالعه وضعیت و پارامترهای مؤثر در شرایط بروز آن حالات را ضروری می سازد، زیرا در این شرایط وضعیت خط مختل شده و اثرات این اختلال به گونه ای می باشد که امکان بروز صدمه جدی به خط وجود دارد.

یکی از عمده ترین عوامل بروز این شرایط غیرعادی خطای اتصال کوتاه می باشد. البته موارد دیگری مانند برخورد صاعقه به خط و کلید زنی در دو سر خط وجود دارند که با توجه به اثرات متفاوتشان به طور جداگانه ای بررسی می شوند.

اتصال کوتاه در اثر عوامل مختلفی مانند طوفان و باد شدید، برخورد درختان به خط در اثر رشد یا سقوط آنها، برخورد بالهای پرندگان بزرگ در هنگام فرود یا پرواز بر روی خط به دو فاز از خط، برخورد هلیکوپتر و یا سایر اجسام پرنده به آن، سقوط دکل و پارگی سیمها رخ می دهد. بررسی حالات مختلف بروز اتصال کوتاه در سیستم به خاطر مشخص ساختن وضعیت اجزای مختلف شبکه، جریانها و ولتاژهای آنها و نحوه حفاظت از آنها امری بسیار مهم و ضروری می باشد.

این بررسی امروزه توسط کارشناسان سیستمهای قدرت و با استفاده از روشها و نرم افزارهای کامپیوتری با قابلیت بسیار بالا انجام می پذیرد و از نتایج آنها در طراحی، برنامه ریزی و حفاظت بخشهای مختلف سیستم انرژی الکتریکی و از جمله خطوط انتقال استفاده می شود.

در این بخش مفروضات اولیه مورد نیاز برای بررسی اتصال کوتاه، روشهای انجام محاسبات اتصال کوتاه و نتایج آن و کاربرد آنها در طراحی خطوط به طور مختصر مورد بحث قرار می گیرد.

۲-۲- اتصال کوتاه - انواع آن، مفروضات اولیه و روشهای محاسبه :

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

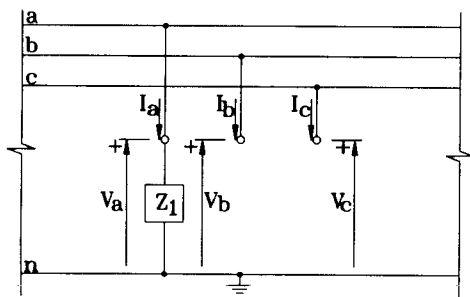
| مرحله | دستورالعمل محاسبات بخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | صفحه |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| ح - ۴ - ۹ | | ۱۸ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

۱-۲-۲- تعریف

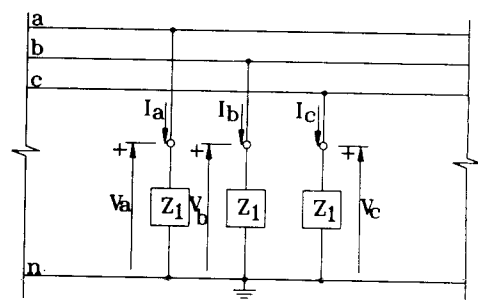
خطای اتصال کوتاه به حالتی اطلاق میشود که در آن يك فاز و یا ترکیبی از فازها از طریق امپدانس معمولاً "کوچک" Z_{sc} به زمین ویا به یکدیگر متصل گردند. نحوه اتصال فازها به یکدیگر و یا زمین نوع اتصال کوتاه را مشخص می سازد و به طور کلی می توان احتمالات مختلف بروز خطا را در چهار حالت زیر طبقه بندی نمود.

۱. خطای اتصال کوتاه سه فاز (LLL^g):

در این حالت فازهای خط به یکدیگر متصل می گردند. معمولاً در این نوع حالت خاصی که در آن سه فاز بطور مستقیم و در واقع با امپدانس اتصال کوتاه صفر به یکدیگر وصل می شوند، مدنظر میباشد. شکل (۲-۱) بطور نمادی این حالت را نشان می دهد. احتمال بروز این خطا از سایر خطاها کمتر بوده و بندرت چنین خطایی رخ می دهد و در صورت بروز نیز معمولاً بصورت مستقیم می باشد. (بدون امپدانس Z_{sc}) بهمین دلیل این نوع اتصال کوتاه متقارن میباشد و در هنگام بروز آن از زمین (همچنین از سیمهای محافظ) جریانی عبور نمی کند.



شکل ۲-۲: اتصال کوتاه LG



شکل ۲-۱: اتصال کوتاه LLLG (حالت کلی)

Three phase fault 2

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|---------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۱۹ | | ح - ۴ - ۹ |
| مشارکت - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

۲. خطای اتصال کوتاه يك فاز به زمین (LG):^۶

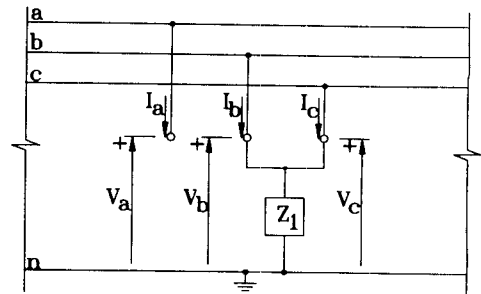
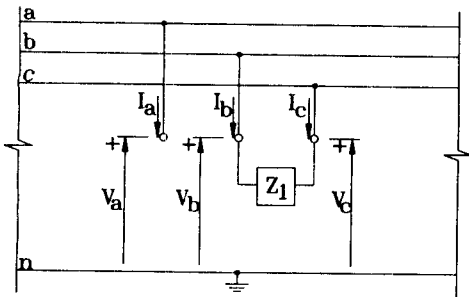
در این حالت يك فاز خط از طریق امپدانس Z_{sc} به زمین متصل می شود. این نوع خطا بیشترین احتمال بروز را دارد و در شکل (۲-۲) برای فاز a نشان داده شده است. این نوع خطا همانطور که مشخص است نامتقارن بوده و باعث عبور جریان از سیم محافظ خط میشود.

۳. خطای اتصال کوتاه دوفاز به یکدیگر (LL):^۷

در این حالت دوفاز بدون اینکه به زمین اتصال پیدا کنند از طریق امپدانس اتصال کوتاه به یکدیگر متصل می شوند. این حالت نیز نامتقارن میباشد. شکل (۲-۳) این حالت را نشان می دهد.

۴. خطای اتصال کوتاه دوفاز به زمین (LLG):^۸

در این حالت دوفاز خط مطابق شکل (۲-۴) و از طریق امپدانس اتصال کوتاه Z_g به زمین اتصال پیدا می کنند.



شکل ۲-۳ : اتصال کوتاه LL (حالت کلی)

شکل ۲-۴ : اتصال کوتاه LLG (حالت کلی)

Single line to ground fault ^۶

Line to line fault ^۷

Double line to ground fault ^۸

d:\wpf\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۲۰ | | ح - ۴ - ۹ |
| مناظر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

از حالات کلی ذکر شده تنها حالت اول بصورت متقارن بوده و بروز سایر حالات عدم تقارن در سیستم را بدنبال خواهد داشت. از نقطه نظر امکان بروز خطا بیشترین احتمال مربوط به خطاهای اتصال کوتاه یکفاز به زمین (LG) بوده و کمترین آن به خطای سه فاز (LLG) مربوط می گردد.^۹ پس از بروز خطای اتصال کوتاه میزان جریان عبوری از خط، توان اتصال کوتاه و ولتاژهای نقاط مرتبط با خط یا نقطه خطا از کمیاتی هستند که باید مشخص گردند تا در بررسیهای مختلف برنامه ریزی و طراحی از آنها استفاده شود.

۳-۲-۲- مفروضات اولیه و روش انجام محاسبات

باتوجه به تنوع و پیچیدگی نحوه بروز خطاها، ماهیت احتمالی آنها و تغییر پارامترهای سیستم در هنگام بروز آن، اطلاعات دقیق و در نتیجه تشخیص دقیق وضعیت خطا ناممکن می گردد و بنابراین لازم است تا محاسبات اتصال کوتاه براساس پیش فرضهای اولیه بصورتی بنا نهاده شود تا نتایج آن ضمن هرچه نزدیکتر بودن به واقعیت، تأمین کننده نیازهای طراحی و حفاظتی سیستم باشند.

باتوجه به این امر که خطاها در زمانهای کوتاه اتفاق می افتند و بروز آنها با تغییرات ناگهانی در سیستم همراه است می توان آنها را پدیده های گذرا^{۱۰} محسوب کرد. اما محاسبات اتصال کوتاه برای بدست آوردن جریانهایی که از خطوط و یا نقاط دیگر سیستم عبور می کنند بر مبنای شبکه سینوسی متعادل و قبل از وقوع اتصال کوتاه و معتبر بودن روابط الکتریکی در شرایط کار با ولتاژ سینوسی متعادل در هنگام بروز خطا، انجام می پذیرد.

بعبارت دیگر جریانی که از محاسبات بدست می آید جریان حالت ماندگار بعد از بروز خطا

^۹ مرجع [۶] عمده زیر را بعنوان درصد تقریبی بروز خطاهای مختلف در یک سیستم قدرت عادی ارائه داده است.
خطای LLLG : ۵٪ خطای LLG : ۱۰٪ خطای LL : ۱۵٪ خطای SLG : ۷۰٪

| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | صفحه |
| ۹ - ۴ - ج | | ۲۱ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

میباشد. از طرف دیگر با وجود سیستمهای حفاظتی و عکس العمل آنها در قبال اتصال کوتاه معمولاً مدت زمان اتصال کوتاه در حد میلی ثانیه میباشد که در این محدوده زمانی سیستم به حالت پایدار نرسیده و حالت گذرای خود را طی می کند.

باتوجه به مطالب اشاره شده و برای روشن شدن بیشتر موضوع یادآوری مختصر نحوه رفتار ژنراتور در هنگام بروز اتصال کوتاه و تعاریف محدوده های زمانی مختلف پاسخ جریان مفید خواهند بود.

جریان يك ژنراتور در هنگام بروز خطای اتصال کوتاه سه فاز بر روی ترمینالهای آن همانند شکل (۲-۵) خواهد بود. این جریان در ابتدا دارای يك مؤلفه dc بوده و دامنه و میزان تغییرات آن دارای سه محدوده زمانی زیر گذرا^{۱۱}، گذرا^{۱۲} و ماندگار^{۱۳} میباشد که بر روی شکل نشان داده شده اند. علت این امر تفاوت بودن راکتانس ژنراتور سنکرون در هر يك از این محدوده های زمانی میباشد. راکتانس های ژنراتور متناظر با محدوده زمانی آنها به ترتیب با X''_d برای محدوده های زمانی زیر گذرا، X'_d برای محدوده زمانی گذرا و X_d برای محدوده زمانی ماندگار و کار حالت ماندگار ژنراتور نشان داده میشوند و مقادیر آنها به ترتیب با گذشتن از محدوده زیر گذرا به محدوده ماندگار افزایش پیدا می کند ($X''_d \setminus X'_d \setminus X_d$).

در نتیجه بیشترین مقدار جریان اتصال کوتاه در چند لحظه ابتدایی بروز خطا (X''_d) خواهد بود. باتوجه به آنچه که گفته شد محاسبات اتصال کوتاه در شبکه معمولاً با در نظر گرفتن X''_d برای ژنراتورها و برای حالت ماندگار سیستم انجام می پذیرد، زیرا جریان بدست آمده از آن بیشتر از دو حالت دیگر بوده و در نتیجه مسائل طراحی و مبنای محاسبات دیگر باید بر اساس آن نهاده شود. البته همانطور که اشاره شد باتوجه به عملکرد سیستم حفاظتی و کلیدهای محافظ مدت زمان اعمال جریان تا اواخر

Subtransient period^{۱۱}

Transient period^{۱۲}

Steady state period^{۱۳}

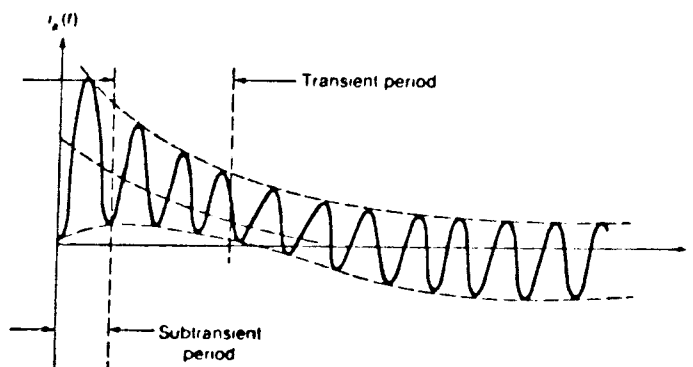
d:\wpfm\khat\report\paydari.75

| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ۹ - ۴ - ج | | |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| صفحه | ۲۲ | |

محدوده زیرگذرا و اوایل حالت گذرا ادامه دارد و فرض رفتار ماندگار سیستم در این حالت ضمن دست بالا بودن بخاطر ساده کردن روابط وقادربودن به انجام محاسبات انجام می پذیرد.

نحوه محاسبه اتصال کوتاه در يك شبکه متقارن براساس بدست آوردن مدار معادل تونن آن شبکه از دید نقطه خطا میباشد. شکل (۲-۶)، مدل شبکه برای بررسی اتصال کوتاه را نشان می دهد دراین شکل n باس ژنراتور^{۱۴} و m باس مصرف^{۱۵} در نظر گرفته شده است و نقاطی که در آنها اتصال کوتاه بررسی می شود نقاطی مانند i, p, میباشد.

بدیهی است که این نقاط می توانند خود باس بارهای تولید کننده یا مصرف کننده باشند.



۲-۵

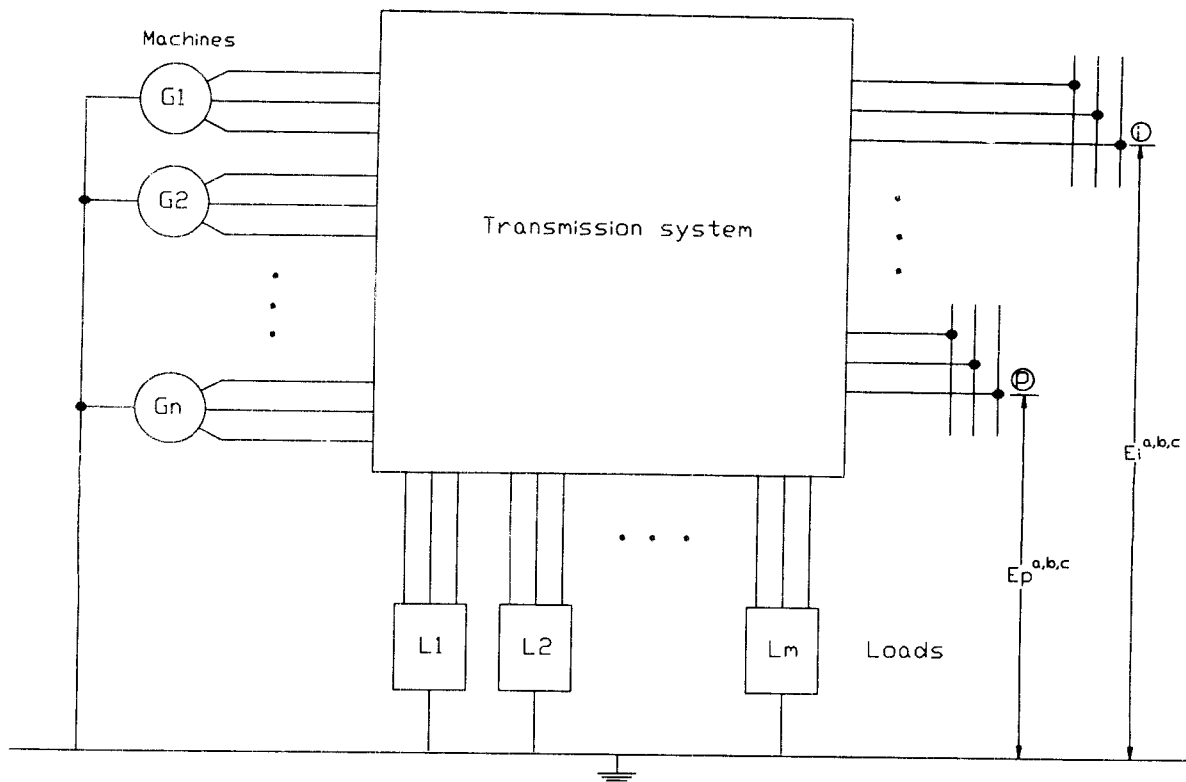


Generator bus ۱۵

Load bus ۱۵

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | صفحه |
| ۹ - ۴ - ح | | ۲۳ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

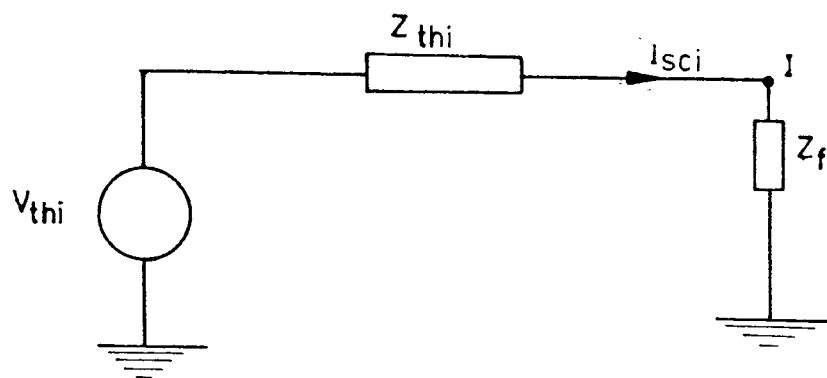


شکل (۲-۶) - مدل کلی شبکه برای بررسی اتصال کوتاه

در بررسی اتصال کوتاه غیر کامپیوتری از تأثیر بارها صرف نظر می شود و در نتیجه با سبادهای مصرف در هنگام بروز خطا بدون ارتباط با زمین در نظر گرفته می شوند. هرگاه در نقطه ای مانند (Z) خطا رخ دهد مدار نهایی برای محاسبه مطابق شکل (۲-۷) خواهد بود که در آن امپدانس معادل شبکه از دید نقطه (i) ، ولتاژ معادل تونن شبکه و Z_f امپدانس خطا میباشد.

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۲۴ | | ۹-۴-۳ |
| مناظر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | نواپر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |



شکل (۲.۷) معادل تونن شبکه برای محاسبات جریان اتصال کوتاه در نقطه خطای (i)

روش بالا برای بررسی يك خطای متقارن کافی میباشد. اما برای محاسبه جریان اتصال کوتاه يك

d:\wpfu\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۲۵ | | ۹ - ۴ - ح |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

خطای نامتقارن استفاده از نظریه مؤلفه های متقارن^{۱۶} ضروری میباشد. براساس این نظریه هر سیستم نامتعادل را می توان به دو سیستم متقارن مؤلفه مثبت و مؤلفه منفی و یک مؤلفه همسو^{۱۷} یا مؤلفه صفر تجزیه نمود. هر جزء شبکه الکتریکی دارای سه نوع امپدانس برای مؤلفه های فوق الذکر خواهد بود که به ترتیب امپدانسهای توالی مثبت^{۱۸}، توالی منفی^{۱۹} و توالی صفر^{۲۰} نامیده میشوند که برطبق تئوری مؤلفه های متقارن قابل محاسبه میباشد. ^{۲۱} برای هر سیستم توالی روابط شبکه و معادل تونن آن براساس امپدانسهای همان سیستم بدست آمده و سپس بسته به نوع خطا نحوه ارتباط سیستمهای توالی مثبت، منفی و صفر به یکدیگر مشخص شده و از آن مقدار جریانهای توالی صفر، مثبت و منفی و در نتیجه مقدار جریان اتصال کوتاه محاسبه میشود.

آنچه گفته شد مختصری در مورد نحوه انجام محاسبات اتصال کوتاه بهمراه فرضیات و توضیحات ضروری برای آنها بود.

البته باتوجه به حجم اطلاعات بالای شبکه های تولید و توزیع انرژی الکتریکی و ضرورت استفاده از برنامه های کامپیوتری در انجام محاسبات مربوط به آنها، امروزه از شیوه های مدل سازی شبکه برای

SYMMETRICAL COMPONENTS THEORY ^{۱۶}

HOMOPOLAR COMPONENT ^{۱۷}

Positive sequence impedance ^{۱۸}

Negative sequence Impedance ^{۱۹}

Zero sequence Impedance ^{۲۰}

^{۲۱} برای اطلاع بیشتر به مرجع (۵) رجوع شود.



d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|--|--|---|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۲۶ | | ح - ۴ - ۹ |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |
| مشاورین - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |

بکارگیری آنها در محاسبات خطا در شبکه استفاده می شود که اساس آنها بر آنچه که گفته شد نهاده شده است.

براین اساس برخی مفروضات دیگر در هنگام بررسی اتصال کوتاه را می توان به شرح زیر تقسیم بندی نمود :

۱- امپدانس خط و سایر اجزای شبکه در محاسبه اتصال کوتاه ثابت فرض می شود، حال آنکه تحت جریان خطا دمای هادی های موجود در شبکه تغییر کرده و در نتیجه مشخصه های الکتریکی آنها نیز عوض می شود.

۲- برای ترانسها امپدانس حالت غیر اشباع در نظر گرفته میشود و با توجه به اینکه ترانسها در جریان اتصال کوتاه به اشباع می روند و امپدانس آنها در این حالت بیشتر می شود این فرض در جهت دست بالا گرفتن جریان محاسبه خواهد بود.

۳- در محاسبات غیر کامپیوتری از خازن خطوط صرف نظر می شود حال آنکه در محاسبات کامپیوتری و بر اساس تئوریهای موجود می توان آنها را در نظر گرفت. همین امر برای امپدانسهای القایی^{۲۲} نیز صادق می باشد.

۴- در محاسبات کامپیوتری بارهای عادی با مشخصه های ولتاژ- جریان مختلفی شبیه سازی می شوند که از میان آنها می توان به در نظر گرفتن بار بصورت توان ثابت و یا امپدانس ثابت اشاره نمود.

۵- بارهای موتور بزرگ با توجه به اینرسی موتورها و عملکرد آنها در لحظات ابتدایی بروز خطا

| مرحله | صفحه |
|------------------------------------|---|
| ۹ - ۴ - ح | ۲۷ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

بصورت ژنراتور عمل می کنند که در محاسبات دقیقتر کامپیوتری باید جریان تزریقی ناشی از آنها را در نظر گرفت.

۶. در هنگام استفاده از برنامه کامپیوتری، ولتاژ لحظه قبل از اتصال کوتاه از انجام محاسبات پخش بار در شبکه مورد بررسی بدست می آید. اما در هنگام در دسترس نبودن محاسبات پخش بار و انجام محاسبات دستی ولتاژهای تمامی باسها در لحظه بروز خطا $> 10\%$ در نظر گرفته میشوند. امروزه برای بررسیهای اتصال کوتاه در شبکه های قدرت، بعلاوه وسعت آنها و حجم بالای اطلاعات باید از نرم افزارهایی که مختص آن میباشند استفاده نمود. این نرم افزارها بر مبنای توپولوژی شبکه، مشخصات الکتریکی کلیه اجزای مختلف شبکه (از جمله خطوط) و استفاده از نتایج پخش بار شبکه محاسبات نسبتاً "دقیق" اتصال کوتاه را انجام داده و نتایج را برای بررسیهای مختلف در زمینه طراحی خط در اختیار کارشناسان قرار می دهند.

۳-۲- استفاده از استاندارد برای انجام اتصالات کوتاه

در بخش ۲-۲ بطور مختصر درباره مفروضات انجام شده در محاسبات اتصال کوتاه ونحوه انجام محاسبات کامپیوتری اتصال کوتاه مطالبی عنوان شد اما در بسیاری موارد وبخصوص در مورد خطوط توزیع شعاعی شبکه توزیع، و درغیاب امکانات نرم افزاری جهت انجام محاسبات دقیقتر میتوان با استفاده از روشهای ساده شده ای که در قالب استاندارد تدوین شده و برای انجام محاسبات با دقت مشخصی در نظر گرفته شده استفاده نمود.

در همین رابطه میتوان به استاندارد IEC 909 با عنوان ("محاسبات اتصال کوتاه در سیستمهای

۲۲ | با توجه به فرضیات انجام شده برای ساده سازی اتصال کوتاه و ماهیت احتمالی و پیچیده بروز خطا معمولاً در محاسبات حداقل 10% خطا وجود دارد. | ۶

| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ح - ۴ - ۹ | | |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشابیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| صفحه | ۲۸ | |

سه فاز با جریان متناوب^{۲۴} " اشاره نمود که به همین منظور تدوین و منتشر شده است. براساس مطالب عنوان شده در مقدمه این استاندارد، محاسبات ارائه شده در این استاندارد برای شبکه توزیع و انتقال نیرو تا ۲۳۰ کیلوولت قابل اعمال بوده و هدف از تدوین استاندارد ارائه روش کلی، مختصر، عملی و دارای دقت قابل قبول عنوان شده است. در این استاندارد خطاهای اتصال کوتاه به دودسته عمده، یکی خطاهایی که در نزدیکی ژنراتور رخ میدهند و دیگری خطاهایی دور از ژنراتور تقسیم شده و برای هر دسته خطا تعریف مشخصی ارائه شده است. روش محاسبات و مثالهای در نظر گرفته شده در استاندارد نیز با توجه به تقسیم بندی ذکر شده تشریح شده است.

بنابراین در هنگام عدم دسترسی به روشهای دقیق تر محاسبات کامپیوتری و یا عدم نیاز به دقت زیاد، میتوان از استانداردهای تدوین شده موجود و بخصوص استاندارد IEC 909 استفاده نمود. این امر بخصوص برای طراحان خطوط توزیع در هنگام طراحی خط مورد نظر مفید خواهد بود زیرا استفاده از استاندارد فوق نیازی به تخصص در زمینه سیستمهای قدرت و محاسبات اتصال کوتاه نخواهد داشت.

۴-۲- پارامترهای خط مورد استفاده در محاسبات اتصال کوتاه

چه در محاسبات دستی و چه در محاسبات کامپیوتری اتصال کوتاه در شبکه همواره به پارامترهای الکتریکی اجزای شبکه نیاز داریم. در مورد خط، در اتصال کوتاه امپدانس خطوط به خاطر اثر ناچیزشان قابل صرف نظر کردن میباشد و نیاز عمده برای محاسبات، امپدانسهای مؤلفه مثبت، منفی و صفر خط نمیشاند که از هربخش حقیقی (مقاومت R) و حجازی (راکتانس X) تشکیل شده اند. پارامترهای مؤلفه مثبت و منفی در خطوط یکسان میباشد بنابراین پارامترهای مورد نیاز خط برای

IEC 909 : Short circuit calculation in three - phase a.c System "

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | صفحه |
| ۹ - ۴ - ج | | ۲۹ |
| توانبر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

محاسبات اتصال کوتاه چه در محاسبات کامپیوتری (جهت ساختن ماتریس های Z_{bus} مؤلفه های مثبت - منفی و صفر) و چه در محاسبات دستی به شرح زیر میباشد:

- مقاومت توالی صفر و مثبت خط R^0 و R^+
- راکتانس توالی صفر و مثبت خط X^0 و X^+

برای مطالعه بیشتر در زمینه نحوه ساختن ماتریسهای امپدانس شبکه برای مؤلفه های متقارن جهت مطالعه اتصال کوتاه شبکه به مراجع ۲ الی ۶ و برای آشنایی بانحوه محاسبه پارامترهای الکتریکی خط در توالی های مثبت و صفر به مرجع ۵ مراجعه شود.

۵-۲- نتایج محاسبات اتصال کوتاه و کاربرد آنها در طراحی خطوط

در طراحی خطوط مسئله عمده مورد توجه در بررسی اتصال کوتاه، حداکثر جریان اتصال کوتاه گذرنده از هادیهای خط (از جمله سیمهای محافظ) میباشد و اصولاً "حادثه‌ترین نوع اتصال کوتاه بستگی به شرایط و نحوه بروز آن دارد. اما هرگاه بدترین شرایط ممکن برای بروز خطا را در نظر بگیریم معمولاً" یکی از دو حالت اتصال کوتاه سه فاز و یا اتصال کوتاه یکفاز به زمین (LG) بدترین حالت خطا میباشد و در بررسی ها معمولاً" این دو نوع اتصال کوتاه با فرض اتصال مستقیم به زمین ($Z_{sc=0}$) در نظر گرفته میشوند. اتصال کوتاه یکفاز در حالات زیر میتواند جریان شدیدتری نسبت به سایر حالات اتصال کوتاه ایجاد کند (۶):

۱- هنگامیکه نقطه خنثی ژنراتورها از طریق امپدانس پائین و یا بطور مستقیم (Solid) زمین شده باشد.

۲- درست ستاره ترانسهایی که ترکیب سریندی آنها بصورت Y- Δ میباشد.

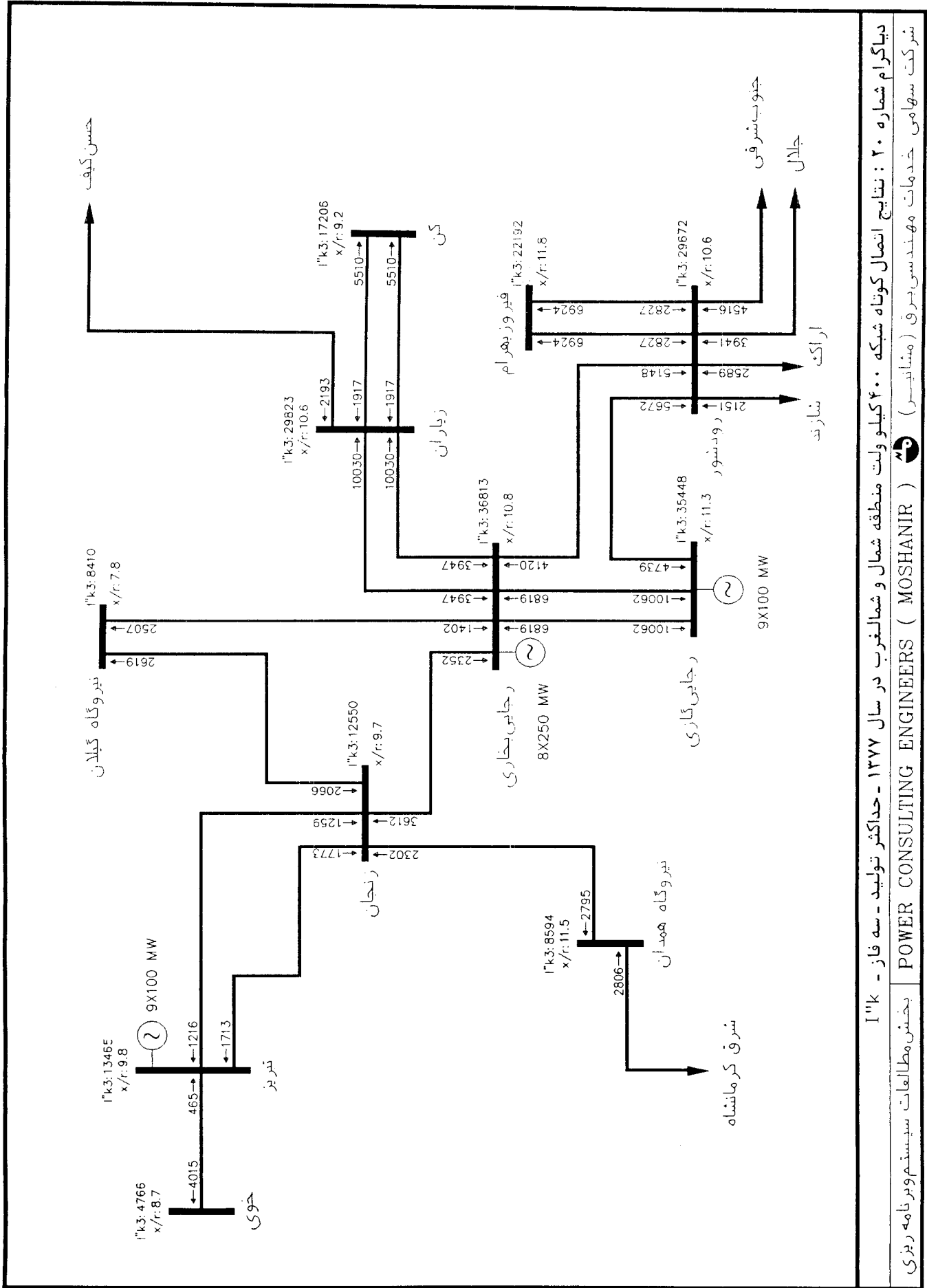
d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| مرحله | دستورالعمل محاسبات بخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | صفحه |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| ۹ - ۴ - ج | | ۳۰ |
| تواثیر - مساوت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

باتوجه به موارد فوق و ترکیب شبکه های قدرت می توان در نظر گرفت که در بیشتر مواقع و در اکثر نقاط شبکه اتصال کوتاه LG بدترین حالت است ولی در حالت کلی هر دو نوع اتصال کوتاه سه فاز و یکفاز برای طراحی خط در نظر گرفته شده و محاسبات برآن مبنا انجام می شود. اطلاعات مورد نیاز برای انجام محاسبات در مورد خطوط بطور معمول، امپدانس مؤلفه های مثبت (منفی) و صفر آن میباشد یعنی (R_0, R_{\pm}, XL_{\pm}) برای دقیقتر شدن محاسبات می توان کاپاسیتانس خط و همچنین امپدانس القایی خطوط مجاور را نیز در نظر گرفت. پس از انجام این محاسبات که در شبکه های بزرگ اجباراً "بانرم افزارهای مختص این امر انجام می پذیرد، نتایج حاصله در مورد شبکه همانند نتایج پخش بار بصورت جداول جریان اتصال کوتاه باسها و خطوط و یا بصورت گرافیکی بر روی دیاگرام تک خطی شبکه نشان داده می شوند. شکل (۲.۸) جریانهای اتصال کوتاه سه فاز متقارن را برای شبکه نمونه قسمت قبل و شکل (۲.۹) جریانهای اتصال کوتاه یکفاز به زمین را برای همان شبکه نشان می دهند. نقطه فرضی بروز خطا بر روی اشکال نشان داده شده است. بدیهی است خطاهایی که در پستها (نقاط گره شبکه) رخ می دهند شدیدتر از خطاهایی هستند که در فاصله دور از پستها، در وسط خط فشارقوی صورت می پذیرند. بهمین دلیل بیشترین جریان گذرنده از خط در هنگامی است که اتصال کوتاه در نزدیکی یکی از پستهای دو انتهای خط رخ دهد. بنابراین برای تخمین بیشترین جریان می توان محاسبات را با فرض بروز خطای اتصال کوتاه مستقیم، هر بار در یک پست منتهی به خط انجام داد و باتوجه به شکل های (۲.۱۰.۱) و (۲.۱۰.۲) و روابط زیر جریان اتصال کوتاه را برای خط بدست آورد.

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

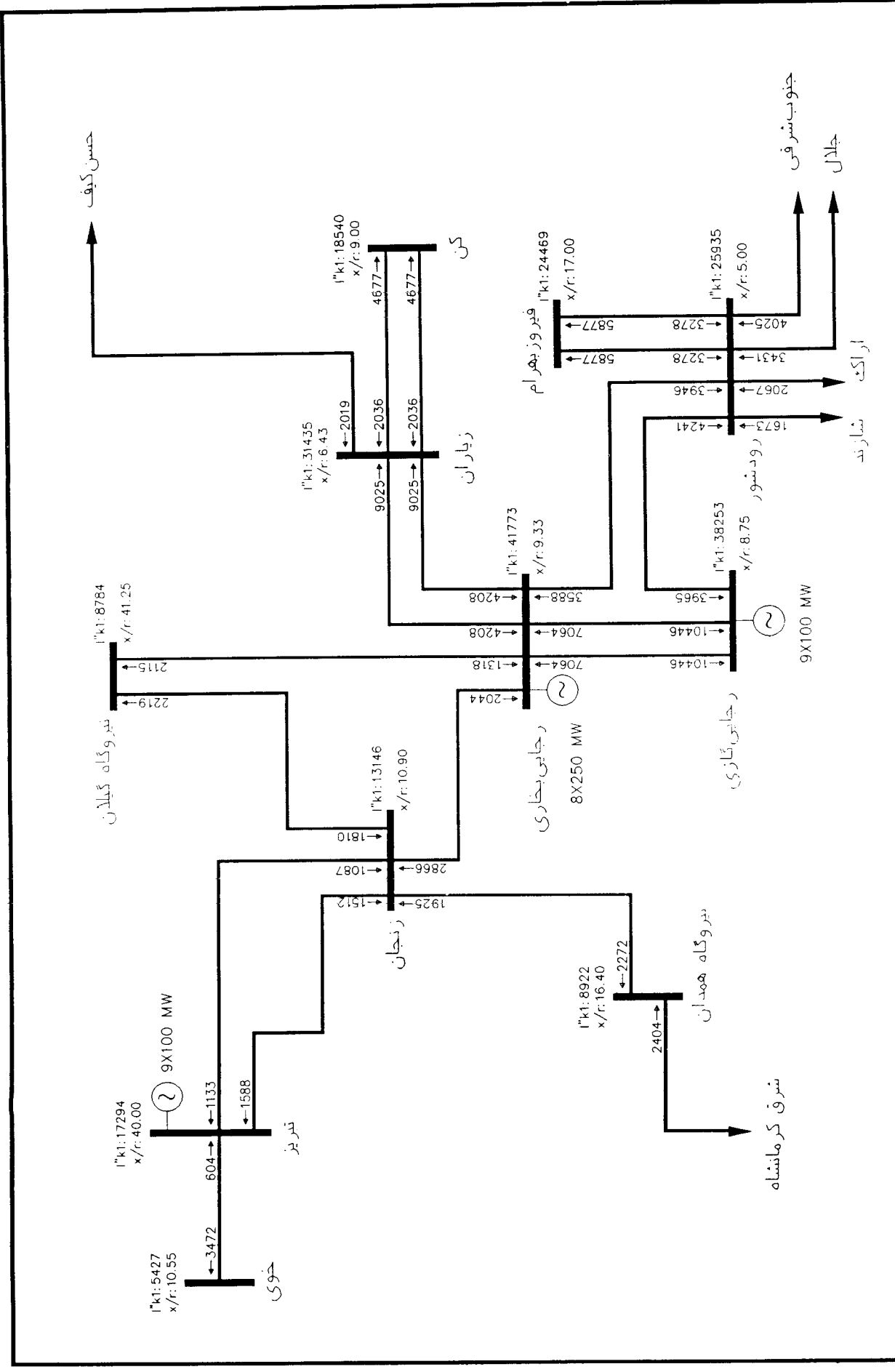
| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ۹ - ۲ - ۲ | | |
| توانبر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| صفحه | ۳۱ | |



دیباگرام شماره ۲۰ : نتایج اتصال کوتاه شبکه ۴۰۰ کیلو ولت منطقه شمال و شمالغرب در سال ۱۳۷۷ - حداکثر تولید - سه فاز - I^k

بخش مطالعات سیستم و برنامه ریزی

شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (منانیر) POWER CONSULTING ENGINEERS (MOSHANIR)

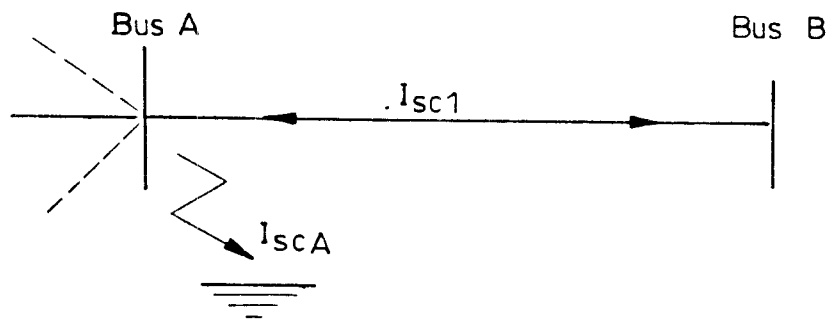


دیگرم شماره ۲۱: نتایج اتصال کوتاه شبکه ۴۰ کیلو ولت منطقه شمال و شمالغرب در سال ۱۳۷۷ - حداکثر تولید - تکفاز - ۱۱۰kV

بخش مطالعات سیستم و برنامه ریزی

شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر) (MOSHANIR) POWER CONSULTING ENGINEERS

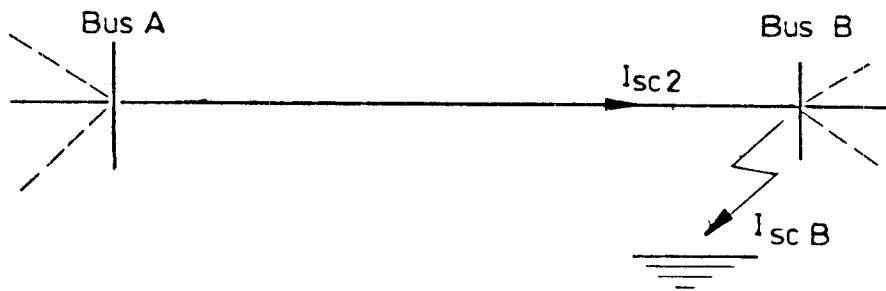
$$I_{sc1 \text{ Line}} = I_{SCA} - I_{SC1}$$



۲-۱۰-۱

$$I_{sc2 \text{ Line}} = I_{SCB} - I_{SC2}$$

$$I_{sc \text{ Line}} = \text{Max} (I_{sc1 \text{ Line}}, I_{sc2 \text{ Line}})$$



۲-۱۰-۲

d:\wpf\khat\report\paydari 75

| | | |
|---------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات بخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۳۴ | | ۹ - ۴ - ج |
| مشاریر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

روابط فوق در تمامی حالات بروز خطا صادق میباشند. لازم به تذکر است که بسته به معیارهای طراحی جریانهای اتصال کوتاه بدست آمده بادر نظر گرفتن امپدانس زیرگذرای ژنراتور (X''_d) یا امپدانس گذرای آن (X'_d) میباشند. اما با توجه به زمان عملکرد رله ها هادیها همواره جریان ناشی از امپدانس X''_d را باید تحمل کنند لذا توصیه می شود برای پوشش دادن بدترین حالت ممکن و رعایت اصول طراحی تمامی جریانهای اتصال کوتاه با فرض X''_d برای ژنراتورهای شبکه محاسبه شوند.

پس از بدست آوردن حداکثر جریانهای عبوری در حالات اتصال کوتاه سه فاز و اتصال کوتاه تکفاز از آنها در موارد زیر استفاده میشود :

۱. انتخاب هادی خط :

در این حالت بیشترین جریان عبوری در هر حالت اتصال کوتاه طبق روابط بدست آمده و از بین آنها بیشترین جریان انتخاب می شود. سپس با استفاده از روابط موجود برای تحمل جریان در هادیها، زمان تحمل جریان اتصال کوتاه و مقدار آن جریان، هادی انتخاب شده برای خط مورد بررسی قرار گرفته و این هادی باید پاسخگوی جریان اتصال کوتاه گذرنده از آن باشد در غیر این صورت باید هادی دیگری که قابلیت تحمل جریان اتصال کوتاه در زمان مشخص را داشته باشد انتخاب نمود. بعبارت دیگر یکی از معیارهای انتخاب هادی قابلیت آن در تحمل بیشترین جریان خطا گذرنده از آن میباشد. مدت زمانی که برای تحمل این جریان در نظر گرفته می شود. بسته به معیارهای طراحی و بر اساس نحوه حفاظت خط میباشد. معمولاً حالتی در نظر گرفته میشود که حفاظت اولیه خط بعلتی عمل نکند و پس از مدتی حفاظت پشتیبان^{۲۶} عمل کند. این مدت زمان معمولاً " ناحیه ۲ رله دیستانس"^{۲۷} میباشد. در هر صورت در این بخش با دارا بودن جریان حداکثر گذرنده که در حالت بروز خطا در مجاورت پست بوجود می آید و هماهنگی با کارشناسان حفاظت

Back up Protection "

Zone II of Distance protection "

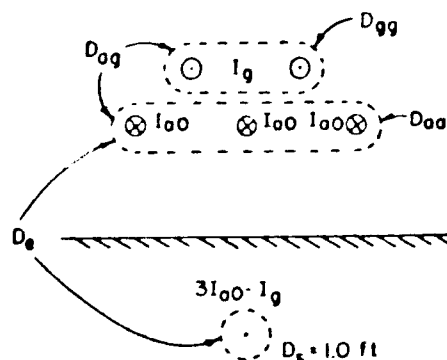
dl:wpfi:khat report paydari.75

| مرحله | صفحه |
|--|---|
| ح - ۲ - ۹ | ۳۵ |
| دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| توانبر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

سیستم می توان بدترین حالت عملی ممکن را در نظر گرفت و براساس آن هادی انتخابی برای استفاده در خط را از لحاظ تحمل جریان اتصال کوتاه بررسی نمود.

۲- انتخاب سیم محافظ خط :

در این حالت بیشترین جریان نامتقارن محتمل بر اثر بروز خطای اتصال کوتاه یکفاز به زمین (LG) محاسبه می شود. اما تمامی این جریان از سیم محافظ عبور نمی کند بلکه بین بدنه برج و زمین و سیم محافظ تقسیم می گردد. نسبت جریانهای عبوری از سیم محافظ و مسیر زمین بستگی به شرایط بروز خط دارد.^{۲۷} با توجه به اینکه بدترین حالت بروز خطا در نزدیکی پست است در این حالت بیشترین جریان اتصالی از هادیهای محافظ عبور می کند. نحوه استفاده از جریان اتصال کوتاه LG در انتخاب سیم محافظ خط بطور مشروح در دستورالعمل انتخاب سیم محافظ آمده است.

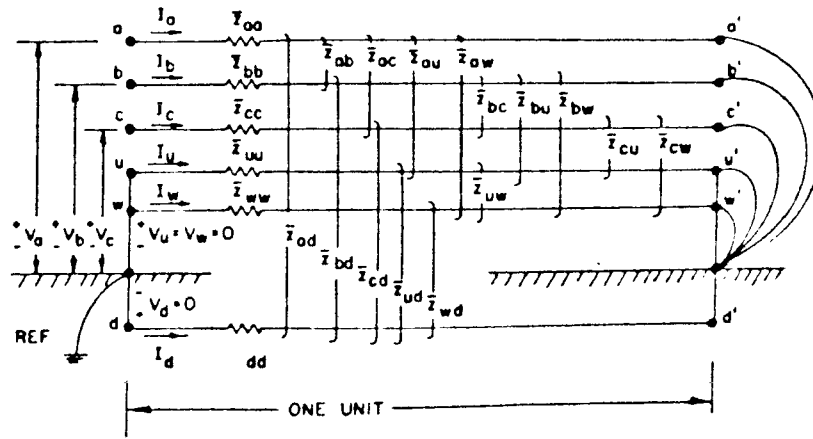


۲-۱۱ - نحوه استقرار سیمهای فاز و محافظ بطور نمونه

^{۲۷} برای اطلاع بیشتر به مراجع [۵] و مقاله IEEE [۷] رجوع شود.

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ح - ۴ - ۹ | | |
| تأثیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| صفحه | ۳۶ | |



شکل (۲-۱۲)

شمای کلی عبور جریانها از یک خط با دو هادی محافظ

۲-۶- جمع بندی

درمطالب این بخش تاکید برآشنایی با شرایط بررسی اتصال کوتاه ، پیش فرضها و ساده سازیهای ضروری بوده و دراین قسمت باتوجه به مسائل عنوان شده بررسی اتصال کوتاه و استفاده از آن درطراحی خطوط را می توان به شرح زیر تقسیم بندی نمود :

۱. محاسبه پارامترهای مورد نیازخط برای محاسبات اتصال کوتاه شامل راکتانسهای مؤلفه مثبت و صفر و مقاومت مؤلفه مثبت و صفر و ارائه آنها به بخش بررسی سیستم جهت انجام محاسبات مذکور.

۲. انجام محاسبات پخش بار و استفاده از نتایج آن برای انجام محاسبات اتصال کوتاه توسط بخش سیستم. لازم است تا نتایج پخش بار و به طبع آن نتایج محاسبات اتصال کوتاه برای تمامی دوره کاری که خط برای آن طراحی می شود انجام شود تا حداکثر جریانهای ایجاد شده درمدت کاری

d:\wpf\khat\report\paydari.75

| | | |
|------------------------------------|---|--------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار ، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | صفحه |
| ح - ۴ - ۹ | | ۳۷ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مثنیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |



خط در نظر گرفته شود.

۳- انجام محاسبات اتصال کوتاه سه فاز و یکفاز به زمین (با فرض X'_{Δ} یا X''_{Δ} برای ژنراتورها) برای حالات مختلف کاری شبکه و محاسبه بیشترین جریانهای گذرنده از هادیهای خط و محافظ با استفاده از روابط بدست آمده. محاسبات اتصال کوتاه با فرض بروز خط در پستهای دوانتهای خط صورت می پذیرد.

۴- استفاده از جریانهای بدست آمده و در نظر گرفتن جریان بزرگتر برای بررسی قابلیت تحمل جریان اتصالی توسط هادی خط با استفاده از روابط موجود. هادی انتخابی برای خط باید قابلیت تحمل جریان فوق الذکر را در مدت زمان گذشتن آن جریان (معمولاً "مدت زمان عملکرد حفاظت پشتیبان) داشته باشد.

۵- استفاده از بیشترین جریان اتصال کوتاه LCI برای بررسی قابلیت تحمل هادی یا هادیهای محافظ براساس روشها و روابط موجود.

۶- هرگاه در سایر مراحل طراحی، تغییری در مشخصه های الکتریکی یا هادیهای خط یا سیمهای محافظ رخ دهد یا در برنامه ریزی سیستم اضافه شدن نیروگاهها - پستها یا خطوط دیگری تصویب شود محاسبات اتصال کوتاه نیز به طبع سایر شرایط برای وضعیت جدید تجدید شده و مراحل قبل تکرار می شوند.

در این بخش مرور مختصری بر روی مسئله بروز خطهای اتصال کوتاه یا انواع آن ونحوه استفاده از آن در طراحی خطوط انجام شد. رعایت مسائل مطروحه این بخش و عنایت به آنها می تواند در انجام يك طراحی اصولی و مهندسی مفید واقع گردد.

d:\wpfu\khat\report\paydari.75

| مرحله | صفحه |
|--|---|
| ح - ۴ - ۹ | ۳۸ |
| دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| توانیر - موانت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | |

۳- پایداری خطوط

موضوع پایداری در طراحی خطوط بطور عمده به پایداری کل شبکه الکتریکی بازمی گردد. بطور کلی در سیستمهای الکتریکی پدیده ها بر حسب دوره زمانی رخدادشان به پدیده های گذرا و ماندگار تقسیم می گردند. علاوه بر آن از پدیده هایی که طول زمان پدیدار شدن آنها در يك محدوده زمانی مابین حالت گذرا و حالت ماندگار باشد (تقریباً" بین ۵ الی ۵۰۰ سیکل) بعنوان پدیده های دینامیک یاد می شود . بر اساس این تقسیم بندی پایداری سیستم در هر يك از این دوره ها بشرح زیر عنوان می گردد.

۱- پایداری حالت ماندگار: در این حالت ، سیستم را زمانی پایدار می نامند که در حالت کار عادی و ماندگار شبکه تحت محدودیتهای عملی موجود قرار گرفته باشد. در مورد خطوط فشار قوی این محدودیتهای باعث ایجاد حد پایداری ماندگار می گردند.

۲- پایداری حالت گذرا: در این حالت پایداری سیستم تحت شرایط بروز خطای اتصال کوتاه مورد بررسی قرار می گیرد و سیستم در صورتی پایدار خواهد بود که پس از رفع خطا بتواند به يك حالت ماندگار برسد.

۳- پایداری دینامیک^{۲۸}: این نوع از بررسی پایداری با گسترش شبکه های قدرت و بروز نوسانات نسبتاً" ضعیف گذرا با دامنه زمانی طولانی در شبکه در حالات مختلفی نظیر سنکرون کردن يك ژنراتور با شبکه، کاهش یا افزایش کم اما ناگهانی بار و تغییر ولتاژ ژنراتور مطرح است . در این محدوده و با توجه به نوع نوسانات معمولاً" سیستم رفتار خطی از خود نشان می دهد. سیستم در این حالت هنگامی پایدار است که نوسانات آن پس از گذشتن محدوده زمانی دینامیک میرا شده و در نتیجه بحالت ماندگار برسد. البته مورد اول معمولاً" در مبحث پایداری قرار

^{۲۸} برای این اصطلاح با توجه به تعریف آن ، پایداری پویا میتواند معادل مناسبی باشد.

| مرحله | صفحه |
|------------------------------------|---|
| ۹ - ۴ - ج | ۳۹ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران |
| | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

نمیگیرد و بطور کلی منظور از پایداری عموماً " پایداری گذرا میباشد با توجه به موارد بالا در طراحی خطوط معمولاً "بررسی حدپایداری ماندگار برای يك خط بطور مستقیم مورد بررسی و استفاده قرار می گیرد ، اما با توجه به اضافه شدن خط به سیستم و شرایط و وضعیت شبکه سراسری بررسیهای لازم برای کنترل پایداری گذرا و درموارد خاص پایداری دینامیک باید صورت پذیرد. که این امر بطور معمول در هنگام بررسیهای اولیه و سیاستگزاری برای تعیین خطوط انجام پذیرفته و پایداری سیستم با توجه به اضافه شدن خط مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به مطالب مطروحه در این بخش اشاره ای کوتاه به نحوه بررسی پایداری و استفاده از آنها در طراحی خطوط می گردد.

۳-۱. پایداری ماندگار :در طراحی خطوط دو محدودیت عمده از لحاظ میزان بار عبوری از خط وجود دارد. یکی محدودیت حرارتی که با توجه به شرایط آب و هوایی و هادی انتخابی حد پایداری حرارتی خط را تعیین می سازد و دیگری حد پایداری ماندگار که منظور از آن حداکثر توان حقیقی قابل انتقال خط با فرض وجود رگولاسیون درخط و ثابت بودن ولتاژهای دو طرف آن میباشد. اگر ولتاژهای دو سر يك خط با V_s ، V_R نشان داده شده و ثابت فرض شوند با توجه به روابط (۳-۱) و (۳-۲) می توان در انتهای خط را بصورت رابطه (۳-۳) نتیجه گرفت (۳)

(۳-۱)

$$V_s = \text{COSH}(\gamma d) V_r + Z_c \text{SINH}(\gamma d) I_r$$

SENDING VOLTAGE ۱۱

RECEIVING VOLTAGE ۲

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|---|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار ، اتعال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۴۰ | | ح - ۴ - ۹ |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

(۳.۲)

$$I_s = \frac{1}{Z_c} \text{SINH}(\gamma d) V_r + \text{Cosh}(\gamma d) I_r$$

(۳.۳)

$$S_{3\phi r} = 3V_r I_r = \frac{3V_s V_r}{B} \cos \beta - \delta - \frac{3AV_r}{B} \cos \beta - \alpha$$

(۳.۴)

$$A = \text{Cosh}(\gamma d)$$

(۳.۵)

$$B = Z_c \text{Sinh}(\gamma d)$$

در روابط فوق پارامترها به شرح زیر میباشند:

V_S Volt (سمت ارسال کننده توان)

V_R Volt (دریافت کننده توان)

I_S جریان در ابتدای خط (A)

I_R جریان در انتهای خط (A)

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات بخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۴۱ | | ۱ - ۴ - ۲ |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

$$\gamma = \sqrt{ZY} \quad \text{ثابت انتشار خط}^{۳۱}$$

z امپدانس سری واحد طول خط (Ω / KM)

y امپدانس موازی واحد طول خط (Ω / KM)

d طول خط (KM)

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad \text{امپدانس مشخصه خط}^{۳۲}$$

α زاویه ثابت مختلط $A = \text{COSH}(\gamma d)$

β زاویه ثابت مختلط $B = Z_c \text{SINH}(\gamma d)$

δ زاویه بار خط نسبت به ابتدای آن
(هرگاه زاویه ابتدای خط را مرجع فرض کنیم زاویه انتهای خط δ خواهد بود.)

با توجه به رابطه (۳-۳) و تعاریف پارامترهای آن مشاهده می شود که در صورت ثابت بودن V_S و V_R و با فرض یک خط مشخص بطول d ، تنها پارامتر متغیر σ خواهد بود. مقدار زاویه σ بستگی به میزان بارگیری از خط داشته و با افزایش بارگیری افزایش می یابد. اما مقدار حداکثر بار آن هنگامی است که زاویه σ برابر زاویه β شود. میزان بار انتقالی در این حالت حداکثر توان بار انتقالی خط بوده و σ حدپایداری میباشد. بنابراین هرگاه با فرض ثابت بودن ولتاژ باسهای دو انتهای خط، محاسبات پخش بار انجام شده و زوایای دو باس انتهای خط مشخص باشند و به ترتیب σ_1 و σ_2 نامگذاری شوند زاویه بار

Propagation Constant ^{۳۱}

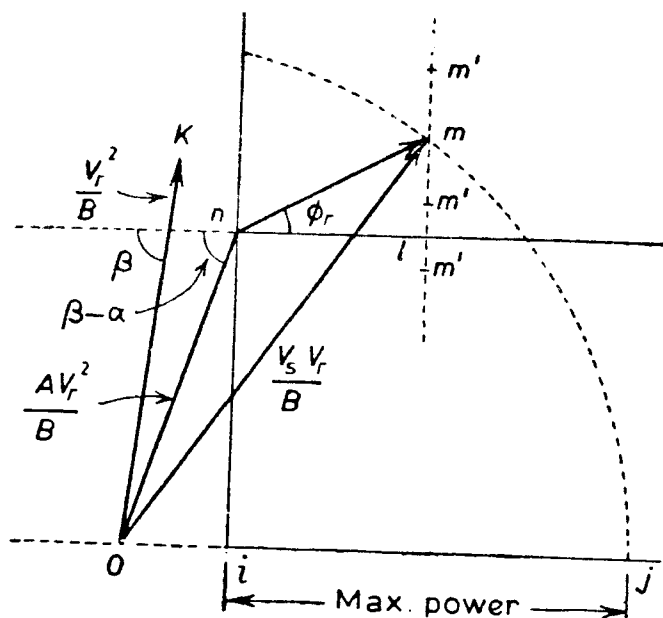
Characteristic Impedance ^{۳۲}

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ۹ - ۴ - ج | صفحه | ۴۲ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

خط از رابطه $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$ بدست خواهد آمد. مقدار این زاویه هیچگاه از زاویه β نباید بیشتر باشد. حتی در بیشتر موارد توصیه میشود که حداکثر زاویه بار مقداری باشد که بار انتقالی هیچگاه از 0.8 حداکثر بار قابل انتقال بیشتر نباشد. (۳)

در ضمن منحنی تغییرات σ بر حسب بارگیری رامیتوان بصورت یک دایره رسم نمود که به دایره قدرت (Power circle) معروف میباشد. شکل (۳-۱) این دایره را در حالت کلی نشان میدهد.



شکل (۳-۱) نمودار دایره ای باس انتهای خط

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۴۳ | | ۹ - ۴ - ح |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

با افزایش طول خطوط و افزایش ضریب A و B میزان β کاهش یافته و حد پایداری کم می شود. در نتیجه در خطوط بلند معمولاً " حد پایداری ماندگار برای توان انتقالی از خط تعیین کننده می گردد. یکی از راههای بالا بردن توان انتقالی خط در این حالت کاهش امپدانس آن با قرار دادن خازن سری در خط می باشد که در این صورت باید پدیده SSR^{۳۳} برای نیروگاههای نزدیک به خط بررسی شود.

۳-۲- بررسی پایداری گذاری سیستم

این بررسی با فرض بروز خط و رفع آن صورت می پذیرد و یک سیستم قدرت در صورتی پایدار است که پس از رفع خط و اتصال مجدد سیستم، تمامی ژنراتورها در حالت سنکرون بمانند. این بررسی معمولاً توسط کارشناسان سیستم و با استفاده از نرم افزارهای مختص آن انجام می شوند. مبنای بررسی نیز بر مدل سازی مناسب برای سیستم و حل معادلات دیفرانسیل و جبری همزمان برای تمامی ژنراتورهای شبکه میباشد.

در هنگام طراحی خط و با توجه به پارامترها و مشخصه های الکتریکی آن می توان پایداری گذرای شبکه را با فرض بروز اتصال کوتاه در خط بررسی نمود که در این حالت تمامی ژنراتورها باید پایدارمانده و از سنکرون بودن خارج نشوند. مسئله مهم در این حالت شرایط اولیه قبل از اتصال کوتاه، مقدار توان انتقالی خط و نوع و محل اتصال کوتاه میباشد که در نتیجه بدترین حالت عبور توان حداکثر از خط و بروز اتصال کوتاه سه فاز در نزدیکی یکی از دو انتهای خط میباشد.^{۳۴} همچنین زمان رفع خط و عملکرد رله ها باید با توجه به مسائل عملی در نظر گرفته شود.

با توجه به مطالب عنوان شده می توان نتیجه گرفت که در بررسی پایداری گذرا از مشخصه های خط و نحوه حفاظت آن استفاده می شود و پس از بررسی در صورتیکه بروز خط باعث ناپایداری یک یا چند ژنراتور و در نتیجه بروز اختلال در شبکه شود باید چاره جویهای ممکن انجام شود که یکی

^{۳۳} Subsynchronous Resonance

^{۳۴} برای بررسی پایداری خط بدترین نوع اتصال کوتاه سه فاز میباشد.

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| مرحله | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | |
| ۹ - ۲ - ج | | |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مشانیر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |
| صفحه | ۴۴ | |

از آنها محدود کردن توان انتقالی از خط بنحوی است که سیستم را از پایداری خارج نسازد. بنابراین بررسی پایداری گذرا سیستم با فرض بروز خطا در خط مورد طراحی از این نظر برای طراحان خط حائز اهمیت می باشد.

۳-۳- پایداری دینامیکی

با گسترش سیستم های قدرت پدیده ناپایداری دینامیکی برای ژنراتورها بصورت جدی مطرح شده است. این ناپایداری بصورت نوسانات با دامنه کم زاویه بار ژنراتور یا ژنراتورهایی از شبکه میباشد که در هنگام يك تغییر كوچك ولی ناگهانی در سیستم صورت می پذیرد. طولانی بودن خطوط انتقال نیرو یکی از عوامل مهم در بروز شدت این نوسانات میباشد. در هنگام بررسی با توجه به دامنه كوچك تغییرات تنها معادلات دیفرانسیل مکانیکی ژنراتور در نظر گرفته شده و سایر روابط بصورت روابط حالت ماندگار سیستم در نظر گرفته می شوند. در این نوع پایداری علیرغم اینکه مشخصه های خط انتقال عوامل مهمی میباشند، اما در صورت ناپایدار شدن سیستم معمولاً "چاره جوییهای دیگری صورت می پذیرد که معمول ترین آنها قرار دادن PSS^{۲۵} برای يك یا چند ژنراتور در سیستم میباشد. در نتیجه این نوع بررسی معمولاً در ارتباط با طراحی خطوط صورت نمی پذیرد ولی در هنگامیکه خط طراحی شده نسبتاً "طولانی میباشد پیشنهاد می گردد که بررسی دینامیکی بر روی شبکه صورت پذیرد و در صورت نیاز چاره جوییهای لازم انجام شود.

Power System Stabilizer^{۲۵}

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | مرحله |
| ۴۵ | | ح - ۴ - ۹ |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

۴-۳- نتیجه گیری

بطور خلاصه ضمن تعریف سه نوع بررسی پایداری برای سیستم موارد زیر را در ارتباط با طراحی خطوط و رابطه آن با بررسی پایداری سیستم می توان مطرح نمود:

۱- بررسی پایداری ماندگار خط انتقال با استفاده از روابط مربوطه و دواير قدرت و تعیین حد پایداری ماندگار خط

۲- بررسی محاسبات پایداری گذرای شبکه با در نظر گرفتن شرایط حاد مختلف برای شبکه، بطوریکه خطا در روی خط مورد بررسی در نظر گرفته شود. در صورتیکه در یک یا چند حالت سیستم ناپایدار شود باید راه حلهای لازم در نظر گرفته شده و در صورت لزوم برای توان انتقالی خط محدودیت لازم اعمال گردد.

۳- در صورت طولانی بودن خط می توان بررسی پایداری دینامیکی شبکه را انجام داده و این نوع پایداری را با توجه به اضافه شدن خط به سیستم مطالعه نمود و در صورت لزوم اقدامات مورد نیاز را پیشنهاد نمود.

بطور خلاصه می توان گفت که در مورد مطالعه پایداری سیستم بطور عمده قسمت طراحی خط اطلاعات لازم را در اختیار کارشناسان بررسی سیستم قرار می دهد تا بر سیها و محاسبات لازم انجام شود و در موارد ضروری با تشخیص کارشناسان مزبور محدودیتهای انتقال بار، حفاظت خط و موارد احتمالی دیگر به طراحان خطوط ابلاغ گردد تا در امر طراحی ملحوظ شوند.

d:\wpfi\khat report\psydari 75

| مرحله | دستورالعمل محاسبات یخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | صفحه |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| ۹ - ۲ - ۳ | | ۴۶ |
| توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | مناویر - دپارتمان تحقیقات و استاندارد |

مراجع مورد استفاده

۱. Transmission and Distribution Reference Book
1964 (Westing house Company)
۲. Elements of Power System Analysis W.D Stevenson
Fourth Edition 1982
۳. بررسی سیستمهای قدرت: نوشته G.GROSS ترجمه: دکتر مهرداد عابدی ۱۳۶۴
۴. Computer methods in Power System Analysis
Stagg and EL - Adiad 1968
۵. Analysis of faulted Power Systems
P.Anderson 1973
۶. Computer Analysis methods for Power Systems
G.T.HEYDT (1986)
۷. MINIMUM SHIELD WIRE SIZE
IEEE , PAS - 102,NO 3,MARCH 1983

d:\wpfi\khat\report\paydari.75

| | | |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|
| صفحه | | مرحله |
| ۴۷ | دستورالعمل محاسبات پخش بار، اتصال کوتاه و پایداری خطوط انتقال نیرو | ح - ۴ - ۹ |
| مشاور - دپارتمان تحقیقات و استاندارد | استاندارد جامع مهندسی و طراحی خطوط انتقال نیروی ایران | توانیر - معاونت تحقیقات و تکنولوژی |

