شرکت سهامی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق

(توانیر)

راهنمای انجام مطالعات فنی تهیه طرح اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه برق

دریافت‌کنندگان سند:

- ✓ **شرکت توانیر**
- ✓ **شرکت مدیریت شبکه برق ایران**
- ✓ **سازمان توسعه برق ایران**
- ✓ **سازمان بهره‌وری انرژی ایران**
- ✓ **شرکت‌های برق منطقه‌ای**
- ✓ **شرکت‌های توزیع نیروی برق**
- ✓ **سازمان انرژی‌های نو ایران**

ویرایش: ۱

(تاریخ بازنگری نهایی : بهمن ماه ۱۳۹۲)

سایت دفتر پشتیبانی فنی توزیع: www.tavanir.org.ir/de

تهیه‌کننده:	تائید کننده:	تصویب کننده:
امضاء	امضاء	امضاء

فهرست مطالب

فصل اول کلیات..... ..... ۱

۱–۱– مقدمه..... ۲

۱–۲– هدف ۲

۱–۳– محدوده اجرا..... ۲

۱–۴– مسئولیت ۲

۱–۵– تعاریف ۳

۱–۵–۱– تعاریف اصلی..... ۳

۱–۵–۲– تعاریف مربوط به مطالعات پخش بار ۱۲

۱–۵–۳– تعاریف مربوط به مطالعات اتصال کوتاه ۱۴

۱–۵–۴– تعاریف مربوط به مطالعات پایداری گذرا..... ۱۵

۱–۵–۵– تعاریف مربوط به مطالعات کیفیت توان ۱۸

۱–۵–۶– تعاریف مربوط به مطالعات هماهنگی حفاظتی ۱۹

۱–۵–۷– تعاریف مربوط به مطالعات سیستم زمین ۲۱

فصل دوم داده‌های مورد نیاز و نحوه جمع‌آوری آن‌ها..... ۲۴

۲–۱– مقدمه ۲۵

۲–۲– داده‌های مورد نیاز..... ۲۵

۲–۲–۱– ژنراتورها..... ۲۵

۲–۲–۲– فیدرهای عمومی و اختصاصی ۲۶

۲–۲–۳– ترانسفورماتورهای عمومی و اختصاصی و پست بالادست ۲۶

۲–۲–۴– بارهای موجود در شبکه مورد مطالعه..... ۲۷

۲–۲–۵–کلیدهای قدرت ۲۷

۲–۲–۶– تجهیزات حفاظتی ۲۷

۲–۲–۷– تجهیزات اندازه‌گیری ۲۸

۲–۲–۸– سایر داده‌های فنی شبکه ۲۸

۲-۳- نحوه جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز ۲۹

فصل سوم مطالعات پخش بار..... ..... ۳۰

۳-۱- مقدمه ۳۱

۳-۲- هدف..... ۳۱

۳-۳- انجام محاسبات پخش بار به وسیله نرم‌افزار ۳۱

۳-۳-۱- جمع آوری اطلاعات..... ۳۲

۳-۳-۲- مدل‌سازی..... ۳۲

۳-۳-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه ۴۰

۳-۳-۴- اجرای برنامه ۴۲

۳-۳-۵- تحلیل نتایج ۴۳

فصل چهارم مطالعات اتصال کوتاه ۴۴

۴-۱- مقدمه ۴۵

۴-۲- هدف..... ۴۶

۴-۳- انجام محاسبات اتصال کوتاه به وسیله نرم‌افزار..... ۴۶

۴-۳-۱- جمع آوری اطلاعات..... ۴۶

۴-۳-۲- مدل‌سازی..... ۴۷

۴-۳-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه ۵۰

۴-۳-۴- اجرای برنامه ۵۵

۴-۳-۵- تحلیل نتایج ۵۶

فصل پنجم مطالعات پایداری گذرا ۵۷

۵-۱- مقدمه ۵۸

۵-۲- هدف..... ۵۹

۵-۳- انجام محاسبات پایداری گذرا به وسیله نرم‌افزار ۶۰

۵-۳-۱- جمع آوری اطلاعات:..... ۶۰

۵-۳-۲- مدل‌سازی ۶۱

۵-۳-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه..... ۶۶

۵-۳-۴- اجرای برنامه ۷۳

۵-۳-۵- تحلیل نتایج..... ۷۴

فصل ششم مطالعات کیفیت توان ۷۶

۶-۱- مقدمه ۷۷

۶-۲- انجام محاسبات کیفیت توان به وسیله نرم‌افزار..... ۷۸

۶-۲-۱- جمع آوری اطلاعات ۷۸

۶-۲-۲- مدل‌سازی ۸۳

۶-۲-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه..... ۸۵

۶-۲-۴- اجرای برنامه..... ۸۵

۶-۲-۵- تحلیل نتایج..... ۸۶

فصل هفتم مطالعات هماهنگی حفاظتی ۸۷

۷-۱- مقدمه ۸۸

۷-۲- هدف..... ۹۰

۷-۳- نحوه تنظیم رله ها بمنظور حفاظت از شبکه مقابل خطای متقارن سه فاز ۹۲

۷-۴- نحوه تنظیم رله ها به منظور حفاظت از شبکه مقابل نامتقارن یک فاز به زمین..... ۹۲

۷-۵- انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی به وسیله نرم‌افزار ۹۶

۷-۵-۱- جمع آوری اطلاعات..... ۹۶

۷-۵-۲- مدل‌سازی ۹۶

۷-۵-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه ۹۷

۷-۵-۴- اجرای برنامه..... ۱۰۱

۷-۵-۵- تحلیل نتایج..... ۱۰۱

فصل هشتم مطالعات سیستم زمین ۱۰۳

۸-۱- مقدمه ۱۰۴

۸-۲- هدف..... ۱۰۴

۸-۳- انجام مطالعات سیستم زمین جهت اتصال *DG* به شبکه توزیع با توجه به طرحهای مختلف اتصال.....۱۰۵

۸-۳-۱- منابع تولید پراکندهٔ متصل شده به شبکهٔ توزیع از طریق طرح ۱ و ۲ .....۱۰۷

۸-۳-۲- منابع تولید پراکندهٔ متصل شده به شبکهٔ توزیع از طریق طرح ۳ و ۴ و ۵ ..... ۱۱۱

۸-۴- جمع بندی سیستم زمین ۱۲۳

فهرست اشکال

شکل (۱-۱) : طرحهای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه با توجه به مجموع قدرت نامی..... ۴
شکل (۱-۲) : شماتیک نقاط PCC و ACP در هنگام نصب DG..... ۶
شکل (۱-۳) : شبکه پایین‌دست و بالادست DG..... ۶
شکل (۱-۴) : نمای کلی یک شبکه فشار ضعیف..... ۸
شکل (۱-۵) : سیستم زمین TN..... ۲۲
شکل (۱-۶) : *a*) شبکه زمین TN-S *b*) شبکه زمین TN-C *c*) شبکه زمین TN-C-S..... ۲۲
شکل (۱-۷) : سیستم زمین TT..... ۲۳
شکل (۱-۸) : سیستم زمین IT..... ۲۳
شکل (۳-۱) : داده‌های پایه‌ی ژنراتور سنکرون برای محاسبات پخش بار..... ۳۲
شکل (۳-۲) : توان تولیدی اکتیو و راکتیو ژنراتور و محدودیت‌های آن..... ۳۳
شکل (۳-۳) : راکتانس طولی و عرضی ژنراتور..... ۳۴
شکل (۳-۴) : جدول اطلاعات ترانسفورماتور..... ۳۵
شکل (۳-۵) : داده‌های تپ ترانسفورماتور..... ۳۵
شکل (۳-۶) : جدول اطلاعات خط و کابل..... ۳۶
شکل (۳-۷) : داده‌ی طول و تعداد خطوط موازی..... ۳۶
شکل (۳-۸) : سه نوع ساختار برای کابل..... ۳۸
شکل (۳-۹) : اطلاعات مربوط به سوسپتانس و کنداکتانس..... ۳۹
شکل (۳-۱۰) : داده‌های مربوط به یک بار شبکه..... ۴۰
شکل (۳-۱۱) : تعریف اولیه‌ی یک المان..... ۴۱
شکل (۳-۱۲) : وارد کردن داده‌های المان مورد نظر..... ۴۱
شکل (۴-۱) : ژنراتور سنکرون برای محاسبات اتصال کوتاه..... ۴۸
شکل (۴-۲) : داده‌های اتصال کوتاه برای ژنراتور سنکرون..... ۴۸
شکل (۴-۳) : برگه داده های اطلاعات اتصال کوتاه طبق IEC۶۰۹۰۹..... ۴۹
شکل (۴-۴) : تعیین جریان حالت پایدار طبق Xdsat و نوع ماشین..... ۴۹
شکل (۴-۵) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۱ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند..... ۵۱
شکل (۴-۶) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۲ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند..... ۵۲
شکل (۴-۷) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۳ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند..... ۵۳
شکل (۴-۸) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۴ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند..... ۵۴
شکل (۴-۹) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۵ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند..... ۵۵
شکل (۵-۱) : داده‌های پایه ژنراتور..... ۶۱

شکل (۵-۲) : داده های اتصال کوتاه ژنراتور..... ۶۲
شکل (۵-۳) : داده های دینامیک ژنراتور..... ۶۲
شکل (۵-۴) : جدول اطلاعات پایه ترانسفورماتور..... ۶۳
شکل (۵-۵) : منحنی اشباع و راکتانس پراکندگی ترانسفورماتور..... ۶۴
شکل (۵-۶) : شبیه سازی فیدر نصب DG و فیدر مانوری با آن..... ۶۵
شکل (۵-۷) : داده های پخش باری شبکه بالا دست DG ۶۵
شکل (۵-۸) : داده‌های دینامیکی و اتصال کوتاه شبکه بالادست..... ۶۶
شکل (۵-۹) : حضور AVR در حالت تامین بار محلی..... ۷۰
شکل (۵- ۱۰) : مدل سیستم تحریک ACA۲..... ۷۱
شکل (۶-۱) : نمایشی از یک نمونه شبکه بالادست..... ۷۹
شکل (۶-۲) : هارمونیک ولتاژ تولیدی ژنراتور SR۴B ساخت CAT..... ۸۱
شکل (۶-۳) : رابطه و نمودار راکتانس و رزیستانس ژنراتور بر حسب فرکانس..... ۸۳
شکل (۶-۴) : مراتب هارمونیک ولتاژ تولیدی ژنراتور SR۴B در نرم افزار DIGSILENT ۸۴
شکل (۶-۵) : هارمونیک های فرد یک بار ۲۰ کیلو ولت..... ۸۴
شکل (۶-۶) : ورود داده‌های مورد نیاز برای محاسبات مربوط به کیفیت توان به نرافزار DIgSILENT ۸۵
شکل (۷-۱) : روش ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ..... ۹۳
شکل (۷-۲) : شبکه نمونه اتصالی طرح ۵..... ۹۵
شکل (۷-۳) : پروسه انتخاب تنظیمات یک رله اضافه جریان زمان معکوس..... ۹۹
شکل (۷-۴) : پروسه انتخاب تنظیمات یک رله اضافه جریان زمان معکوس و زمان معین..... ۱۰۰
شکل (۸-۱) : روشهای گوناگون آشکارسازی خطای زمین در نوترال ژنراتورهای تکی غیر موازی..... ۱۰۷
شکل (۸-۲) : یک یا چند مولد موازی با ترانسفورماتور اتصال زمین..... ۱۱۰
شکل (۸-۳) : اتصال زمین دو یا چند مولد با قابلیت کار موازی با شبکه..... ۱۱۱
شکل (۸-۴) : زمین کردن منابع تولید پراکنده که قابلیت کار موازی با شبکه را دارند به همراه ترانسفورماتور زمین..... ۱۱۱
شکل (۸- ۵) : اتصال زمین منبع تولید پراکنده تکی ایزوله با ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین شده..... ۱۱۳
شکل (۸-۶) : اتصال زمین منبع تولید پراکنده تکی ایزولهبا ترانسفورماتور ستاره زمین شده- مثلث..... ۱۱۵
شکل (۸-۷) : دو یا چند منبع تولید پراکنده به صورت موازی و جدا از شبکه دارای ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین‌شده..... ۱۱۶
شکل (۸-۸) : دو یا چند منبع تولید پراکنده به صورت موازی و جدا از شبکه دارای ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین‌شده..... ۱۱۸
شکل (۸-۹): دو یا چند مولد موازی دارای ترانسفورماتور متصل‌کننده مثلث-ستاره زمین‌شده که قابلیت کار موازی با شبکه دارند..... ۱۱۹

شکل (۸-۱۵): دو یا چند مولد موازی دارای ترانسفورماتور متصل‌کننده ستاره زمین‌شده- مثلث با قابلیت کار موازی با شبکه..... ۱۲۲

فهرست جداول

جدول (۱-۱) : کلاس‌های مولدهای تولید پراکنده ۳
جدول (۱-۲): طرحهای مجاز برای اتصال DG به شبکه با توجه به قدرت نامی ۵
جدول (۱-۳) : شماره رله‌ها مطابق استاندارد ANCI/IEEE ۲۰
جدول (۲-۴) : داده‌های مورد نیاز ژنراتور ۲۵
جدول (۲-۵) : داده‌های مورد نیاز فیدرهای عمومی و اختصاصی ۲۶
جدول (۲-۶) : داده‌های مورد نیاز ترانسفورماتورهای عمومی و اختصاصی و پست بالادست ۲۶
جدول (۲-۷) : داده‌های مورد نیاز بارهای موجود در شبکه مورد مطالعه ۲۷
جدول (۲-۸) : داده‌های مورد نیاز کلیدهای قدرت ۲۷
جدول (۲-۹) : داده‌های مورد نیاز تجهیزات حفاظتی ۲۷
جدول (۲-۱۰) : داده‌های مورد نیاز تجهیزات اندازه‌گیری ۲۸
جدول (۳-۱) : ظرفیت خازنی در سیستم مؤلفه مثبت ۳۷
جدول (۳-۲) : ظرفیت خازنی در سیستم مؤلفه مثبت برای یک نمونه کابل (**hochstadtercable**) ۳۸
جدول (۳-۳) : جریان اتصال کوتاه برای کابل‌های گوناگون ۳۹
جدول (۵-۱) : ثابت‌های اینرسی ژنراتورهای مقیاس کوچک ۶۹
جدول (۵-۲) : پارامترهای انتخابی سیستم تحریک ۷۲
جدول (۶-۱) : مشخصه بی باری ترانسفورماتور ۶۳/۲۰ کیلو ولت ایران ترانسفو ۸۰
جدول (۶-۲) : حدهای مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های توزیع عمومی ۳۸۰ ولت و ۲۰ کیلوولت ۸۲
جدول (۶-۳) : حدهای مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های توزیع عمومی ۶۳ کیلوولت و ۱۳۲ کیلوولت ۸۲
جدول (۷-۱) : حداقل تجهیزات حفاظتی برای اتصال DG در کلاس ها و طرح های مختلف ۹۱
جدول (۷-۲) : ثابت های رله های اضافه جریان استاندارد IEC ۶۰۲۵۵ ..... ۹۸

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

با توجه به گستردگی گزارشات طرح اتصال و هم‌چنین ضرورت استفاده از نرم‌افزار در انجام مطالعات مربوطه، ارائه یک راهنما که اولا اطلاعاتی از قبیل تعاریف و داده‌های مورد نیازی که به طور کلی در تهیه طرح اتصال مورد نیاز است را جمع‌بندی کرده و ثانیا راهبردهای استفاده از نرم‌افزار و چگونگی تحلیل نتایج هر یک از مطالعات را بیان کند، ضروری به نظر می‌رسد.

از اینرو مجموعه حاضر با عنوان راهنمای انجام مطالعات تهیه طرح اتصال ارائه می‌گردد که در آن علاوه بر موارد فوق به نحوه جمع‌آوری اطلاعات و مدل‌سازی تجهیزات مختلف در یکی از قدرتمندترین و محبوب‌ترین نرم‌افزارهای تحلیل شبکه قدرت پرداخته شده است.

۱-۲- هدف

هدف این راهنما آشنایی مشاوران با نحوه تهیه طرح اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه می‌باشد.

۱-۳- محدوده اجرا

محدوده اجرای این مطالعات برای منابع تولید پراکنده گازسوز با ظرفیت حداکثر ۲۵ مگاوات است. سطح ولتاژ مجاز برای نصب این مولدها برای استفاده از تسهیلات حمایتی سطح ولتاژ توزیع می‌باشد. در مواردی که با توجه به محدودیت‌های شبکه توزیع امکان اتصال ظرفیت‌های بالا به سطح ولتاژ توزیع فراهم نباشد امکان اتصال به سطح ولتاژ فوق توزیع نیز وجود خواهد داشت.

۱-۴- مسئولیت

۱- مسئولیت انجام این مطالعات بر عهده مالک تولید پراکنده می‌باشد. مالک تولید پراکنده با انتخاب مشاور مورد تایید شرکت برق (شرکت توزیع یا برق منطقه‌ای مربوطه) مسئولیت تهیه و ارائه طرح اتصال را به مشاور واگذار می‌نماید.

۲- مسئولیت بازبینی و تایید نتایج مطالعات بر عهده شرکت برق (شرکت توزیع یا برق منطقه‌ای مربوطه) به عنوان صادرکننده مجوز اتصال می‌باشد.

۱-۵- تعاریف :

۱-۵-۱- تعاریف اصلی :

- مولد مقیاس کوچک:

مجموعه‌ای از دستگاهها یا تاسیسات، به صورت یک واحد تولید برق است که بهره‌برداری از آن به صورت متصل به شبکه برق از نظر فنی امکان‌پذیر بوده و ظرفیت عملی آن در محل اتصال به شبکه برق از ۲۵ مگاوات بیشتر نباشد. مجموعه چند مولد که این شرط در مورد مجموع ظرفیت آنها رعایت شود و در یک نقطه به شبکه برق متصل شوند نیز، به عنوان مولد مقیاس کوچک در نظر گرفته می‌شوند.

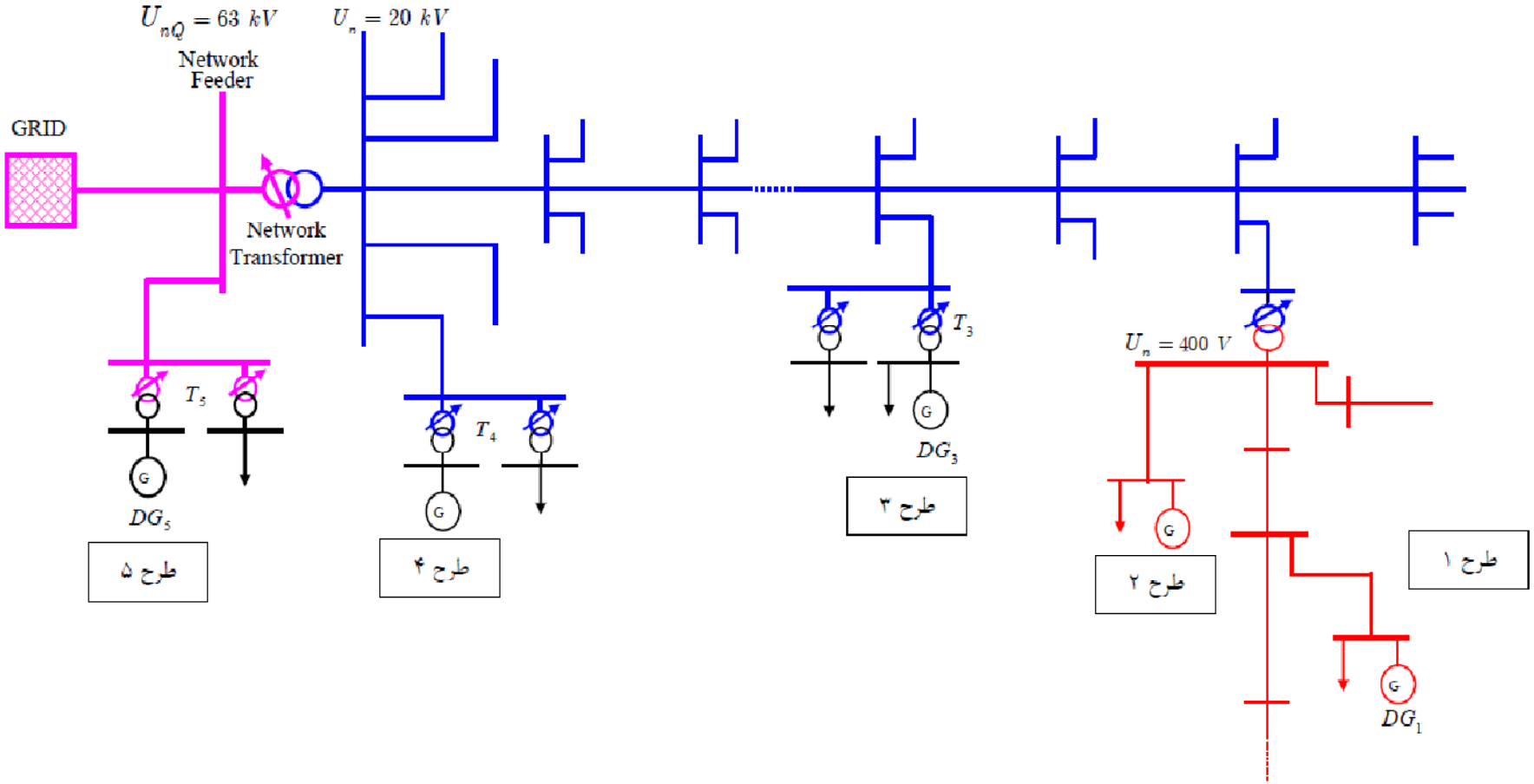
- طبقه‌بندی مولدهای مقیاس کوچک با توجه به مقادیر نامی

جدول (۱-۱) : کلاس‌های مولدهای تولید پراکنده

کلاس	مقادیر نامی
۱	کمتر از ۲۰ کیلووات
۲	بیشتر از ۲۰ کیلووات و کمتر از ۲۰۰ کیلووات
۳	بیشتر از ۲۰۰ کیلووات و کمتر از ۱۰۰۰ کیلووات
۴	بیشتر از ۱ مگاوات و کمتر از ۷ مگاوات
۵	بیشتر از ۷ مگاوات و کمتر از ۲۵ مگاوات

طبقه‌بندی فوق برای مولدهای سه‌فاز ارائه شده‌است. منابع تولید پراکندهٔ تکفاز با ظرفیت کمتر از ۵ کیلووات جزء کلاس ۱ بوده و با استفاده از طرح ۱ که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، به شبکه متصل می‌شوند.

با توجه به طبقه‌بندی صورت گرفته در جدول ۱-۱، طرح‌هایی که اکثراً برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند در شکل ۱-۱ نمایش داده شده‌اند.



شکل (۱-۱) : طرحهای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه با توجه به مجموع قدرت نامی

ترتیب شماره‌گذاری این پنج طرح متناسب با افزایش ظرفیت DG، سطح خطا در نقطهٔ اتصال مشترک (PCC) و زمان و هزینهٔ مورد نیاز برای برقراری اتصال DG با شبکه در نظر گرفته شده است. با توجه به این مطلب، طرحهای مجازی که با توجه به توان نامی منابع تولید پراکنده می‌توان برای اتصال این منابع به شبکه مورد استفاده قرار داد، در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

جدول (۱-۲): طرحهای مجاز برای اتصال DG به شبکه با توجه به قدرت نامی

کلاس / طرح	۱	۲	۳	۴	۵
۱	*				
۲	*	*			
۳		*	*	*	
۴				*	*
۵					*

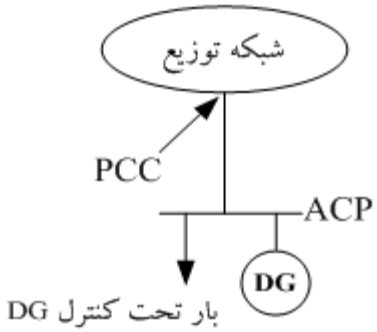
- نقطهٔ اتصال واقعی DG به شبکه (ACP) :

این نقطه محل فیزیکی اتصال DG به شبکه می‌باشد اما چون باری از شبکه به آن متصل نیست، در نتیجه کنترل تغییرات ولتاژ آن در دست مالک DG است حتی اگر باری هم به این نقطه متصل باشد کنترل و تغذیه این بار بر عهدهٔ مالک DG می‌باشد.

- نقطهٔ اتصال مشترک (PCC) :

در واقع، نقطهٔ اتصال مشترک (PCC) به عنوان نزدیک‌ترین نقطه به نقطه‌ای که تجهیزات DG به آن متصل هستند، تعریف می‌شود که سایر استفاده‌کنندگان شبکه نیز به آن متصل می‌شوند. این نقطه از دیدگاه شبکه، نقطهٔ اتصال DG به شبکه بوده و اگر تغییری از جانب DG روی آن نقطه اعمال شود روی بارهای شبکه مؤثر خواهد بود. در واقع در این نقطه تأثیرات DG روی شبکه بروز خواهد کرد و کنترل آن بر عهدهٔ بهره‌بردار شبکه می‌باشد. نقطه اتصال مشترک (PCC) باید در طراحی و نمودار تک خطی مشخص شود. مالک شبکه (بهره‌بردار)، طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از تأسیسات طرف شبکه

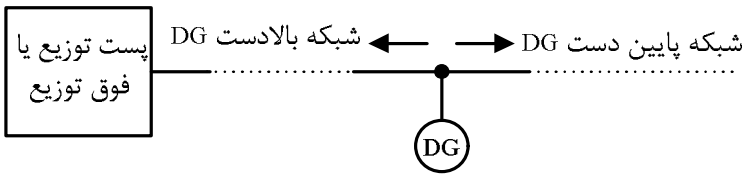
توزیع را در نقطه اتصال مشترک هماهنگ می‌کند. مالک DG نیز مسئولیت هماهنگی، طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات سمت تولید را در این نقطه بر عهده دارد. مالک DG مسئول هرگونه هزینه اضافی تحمیل‌شده به شبکه انتقال و توزیع ناشی از اتصال است. مالک شبکه بررسی فنی، طراحی و ساخت مورد نیاز برای نصب را انجام می‌دهد و هزینه‌های مورد نظر را به عهده مالک DG می‌گذارد. هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات در سمت فیدر نیز توسط بهره‌بردار تقبل می‌شود بر خلاف نقطه اتصال واقعی، بارهای متصل به PCC، بارهای تحت کنترل شبکه بوده و می‌توانند تغییر کنند. شماتیک این دو نقطه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل (۱-۲) : شماتیک نقاط PCC و ACP در هنگام نصب DG

- شبکه پایین‌دست و بالادست DG :

شبکه‌های توزیع معمولاً به صورت از چند سو تغذیه طراحی و به صورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند. در این پروژه، از نقطه اتصال DG به سمت انتهای فیدر، شبکه پایین‌دست نامیده می‌شود. شبکه بالادست DG نیز از نقطه اتصال DG به سمت ابتدای فیدر که ممکن است پست توزیع یا فوق توزیع باشد، تعریف می‌گردد.



شکل (۱-۳) : شبکه پایین‌دست و بالادست **DG**

- نقطهٔ اندازه‌گیری :

نقطه‌ای که انرژی الکتریکی تولیدی توسط نیروگاه تولید پراکنده، توسط دستگاههای اندازه‌گیری منصوبه اندازه‌گیری و تحویل شرکت برق می‌شود.

- شبکهٔ اختصاصی :

مجموعه‌ای از تجهیزات مورد نیاز (شامل خط، پست اختصاصی، تجهیزات اندازه‌گیری، حفاظت، پایش و مخابرات) که منابع تولید پراکنده را در نقطه اتصال مشترک به شبکهٔ عمومی برق متصل می‌کند.

- فیدر عمومی :

خطی که مولد پراکنده را به پست بالادست (پستی با بالاترین سطح ولتاژ در محدوده انجام مطالعات) متصل می‌کند.

- ترانسفورماتور عمومی :

ترانسفورماتوری که در پست بالادست مولد پراکنده قرار دارد و شبکه بالادست آن به صورت مدار معادل تونن مدل می‌شود.

- ترانسفورماتور اختصاصی :

ترانسفورماتوری که مولد پراکنده را به فیدر شبکه و یا شینه متصل می‌نماید.

- فیدر اختصاصی :

خطی که مولد پراکنده را به ترانسفورماتور اتصال‌دهنده منبع تولید پراکنده به شبکه و یا فیدر شبکه متصل می‌کند.

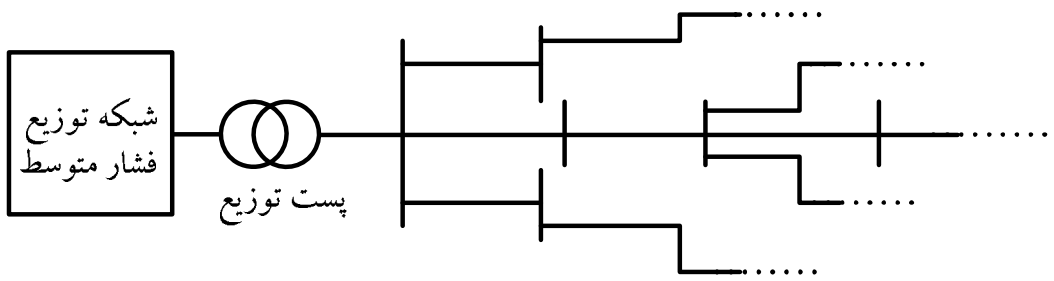
- فیدرهای فشار متوسط :

فیدرهای فشار متوسط دارای ساختار شعاعی بوده و تغذیه آنها توسط یک پست فوق توزیع انجام می‌گیرد که معمولاً دارای تپ چنجرهای اتوماتیک کنترل ولتاژ می‌باشد. در این حالت با توجه به تثبیت ولتاژ شینه مذکور می‌توان ولتاژ پست فوق‌توزیع را بعنوان مرجع در نظر گرفت. از طرف دیگر از آنجا که قدرت

اتصال‌کوتاه شبکه انتقال در مقایسه با شبکه توزیع بسیار بزرگ می‌باشد می‌توان شبکه انتقال را در مقایسه با شبکه توزیع بصورت شینه بی‌نهایت در نظر گرفت.

- فیدرهای فشار ضعیف :

تفاوت مهم این فیدرها با فیدرهای فشار متوسط اینست که ترانسفورماتور توزیع فشار ضعیف فاقد تپ چنجر اتوماتیک است و تپ آن زیر بار قابل تغییر نیست. از اینرو ولتاژ شینه پست با کم و زیاد شدن بار تغییر می‌کند بنابراین، فرض ثابت بودن این ولتاژ و در نتیجه استفاده از قضیه مدارهای موازی در این مورد منتفی خواهد شد. بعبارت دیگر در این حالت منبع ولتاژ دیده شده از سر ترانسفورماتور توزیع منبع ولتاژ ایده‌آل نمی باشد، در نتیجه بارگذاری فیدرهای مختلف روی افت ولتاژ ایجاد شده از سر پست فوق توزیع تا شینه پست توزیع اثر دارند و عملکرد آنها مستقل از همدیگر نمی‌باشند. بنابراین اگر هدف مطالعه یکی از فیدرها باشد و از هر گونه تقریبی اجتناب شود، باید کل فیدرهای فشار ضعیف به همراه فیدر فشار متوسط مربوطه تا پست فوق توزیع تحلیل شود. یعنی نمی‌توان یکی را بدون دیگری مطالعه کرد.



شکل (۱-۴) : نمای کلی یک شبکه فشار ضعیف

- بار محلی :

باری که در صورت باز شدن کلید نقطه اتصال مشترک از طریق منبع تولید پراکنده قابل تامین است.

- مانور :

هر گونه عملیات قطع و وصل تجهیزات شبکه برای برقدار یا بی‌برق کردن و جابجایی بار را مانور می‌گویند.

- شرکت برق :

در این راهنما، شرکت برق حسب مورد شامل شرکت توزیع نیروی برق و یا شرکت برق منطقه‌ای می‌باشد.

- تجهیزات کلیدزنی

به کلیه تجهیزاتی اتلاق می‌شود که برای قطع و وصل (برقدار/ بی‌برق کردن) یک فیدر یا یک سکشن از فیدر مورد استفاده قرار می‌گیرند

- تجهیزات کنترلی

تجهیزات کنترلی که معمولاً در ژنراتورهای سنکرون مورد استفاده قرار می‌گیرد از دو حلقه کنترلی مجزا تشکیل شده است، که عبارتند از : حلقه کنترل گاورنر و حلقه کنترل تنظیم خودکار ولتاژ (AVR).

- تجهیزات اندازه‌گیری

تجهیزات اندازه‌گیری، همانگونه که از نامشان برمی‌آید، وظیفه اندازه‌گیری یک یا چند پارامتر الکتریکی در نقطه اتصال را برعهده دارند؛ متداول‌ترین این تجهیزات ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان و کنتورها هستند.

نقطه اندازه‌گیری توان اکتیو و راکتیو که صورتحساب‌ها بر اساس آن صادر می‌شود، باید دقیقاً مشخص باشد، که معمولاً در نقطه اتصال مشترک (PCC) در نظر گرفته می‌شود.

- کلید قدرت

تجهیزی است که می‌تواند مدار الکتریکی فشارقوی/متوسط را در شرایط عادی و شرایط بروز خطا (در مدت زمان تعریف شده محدود) قطع و وصل نماید به گونه‌ای که خود کلید آسیب ندیده و شبکه نیز به نحو مطلوبی کنترل شود و خطری برای پرسنل بهره‌بردار شبکه ایجاد نشود. کلیدهای قدرت برای قطع جریان‌های عادی و جریان‌های اتصال‌کوتاه طراحی می‌شوند. کنترل این کلیدها می‌توانند به صورت محلی توسط شستی‌های محلی، یا توسط فرمان از راه دور و یا سیگنال‌های مخابراتی صادر شده از تجهیزات حفاظتی مربوط به کلید انجام شود، بطوریکه با تجاوز جریان و ولتاژ خط و یا فرکانس سیستم و یا سایر پارامترهای کنترلی از حد معینی که برای تجهیزات حفاظتی از پیش تعیین شده است، رله تحریک شده و فرمان قطع را برای کلید مربوطه صادر می‌نماید.

- سکسیونر

بر خلاف کلیدهای قدرت، سکسیونرها قادر به قطع هیچ جریانی نیستند. آنها فقط در جریان صفر باز و بسته می‌شوند. این کلیدها اصولاً جداکننده و ایزوله‌کننده هستند که بهره‌بردار را به جدا کردن کلیدهای قدرت، ترانسفورماتورها، خطوط انتقال و امثال آنها از شبکه برقدار قادر می‌سازند. البته در بعضی از شبکه-های توزیع نیز از سکسیونرهای قابل قطع زیر بار استفاده می‌شود که قابلیت قطع جریان بار شبکه را دارند ولی نمی‌توانند جریان خطا را قطع کنند. سکسیونرها جزو تجهیزاتی محسوب می‌شوند که بیشتر در هنگام تعمیرات و تغییر مسیر جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. سکسیونرها از ملزومات اصلی انجام تعمیرات در شبکه و تغییر مسیر جریان (مانور) بشمار می‌روند.

- بازبست خودکار (ریکلوزر)

در واقع، ریکلوزر نوعی رله است که فرمان وصل مجدد را به کلید قدرت می‌دهد. به این صورت که در حین رخ دادن خطا یا اتصال‌کوتاه در شبکه، توانایی چندین مرتبه (معمولاً ۳ مرتبه) قطع و وصل را دارد.

بدین معنی که در صورت ایجاد خطا در شبکه و قطع کلید، پس از گذشت یک دوره زمانی از پیش تنظیم‌شده (مثلاً دو ثانیه) این تجهیز فرمان وصل مجدد را صادر می‌کند. اگر بعد از وصل همچنان خطا پاکسازی نشده بود مجدداً قطع می‌کند و این عمل را چندین مرتبه انجام می‌دهد و اگر بعد از هر وصل، خطا بر طرف شده بود که کلید وصل باقی می‌ماند در غیر اینصورت مجدداً قطع می‌شود و زمانی که تعداد قطع و وصل به اندازه تعریف شده رسید قطع باقی می‌ماند.

- تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ (AVR) :

در عمل تمام تجهیزات مورد استفاده در یک سیستم قدرت برای سطح ولتاژ معینی (ولتاژ نامی) طراحی می‌شوند. اگر ولتاژ سیستم از مقدار نامی کمتر یا بیشتر شود، کارایی تجهیزات سیستم و احتمالاً عمر آنها کاهش می‌یابد. مثلاً گشتاور یک موتور القایی متناسب با مجذور ولتاژ پایانه آن است و یا شار نوری لامپ‌ها شدیداً وابسته به ولتاژ می‌باشد. در سیستم‌های قدرت تجهیزات مشابه که عملکرد آنها به شدت به کیفیت ولتاژ شبکه وابسته است، بسیار زیاد است. علاوه بر بارها، اغلب عناصر یک شبکه قدرت مصرف‌کننده توان راکتیو هستند.

بنابراین، باید توان راکتیو در بعضی نقاط شبکه تولید و سپس به محل‌های مورد نیاز منتقل شود. با تزریق توان راکتیو به بعضی نقاط شبکه و انجام پخش‌بار در شبکه مشخص می‌شود که ولتاژ تمام شین‌ها بالا می‌رود که این تأثیر بیش از همه روی ولتاژ همان شینی که تزریق توان راکتیو به آن صورت گرفته، نمایان خواهد بود. البته این تزریق توان راکتیو تأثیر چندانی بر روی فرکانس شبکه ندارد. بنابراین، می‌توان گفت که توان راکتیو و ولتاژ شبکه دارای تغییراتی در جهت یکسان هستند که به آن کانال کنترلQ-V (توان راکتیو-ولتاژ یا مگاوار-ولتاژ) گفته می‌شود. با توجه به اینکه توان راکتیو مصرفی بارهای شبکه در ساعات مختلف در حال تغییر است، در نتیجه ولتاژ و توان راکتیو باید دائماً کنترل شود. در ساعات حداکثر بار شبکه، توان راکتیو مورد نیاز شبکه بیشتر می‌شود و در نتیجه شبکه نیاز به توان راکتیو زیادی دارد. اگر توان راکتیو تامین نشود، ولتاژ نقاط مختلف شبکه کاهش می‌یابد و ممکن است از محدوده مجاز خود خارج شود. بدین منظور نیروگاه‌ها دارای سیستم کنترل ولتاژی هستند که در این سیستم‌ها کاهش ولتاژ پایانه ژنراتور را حس می‌کنند تا فرمان‌های کنترلی لازم برای بالا بردن جریان تحریک ژنراتور و در نتیجه افزایش ولتاژ تا سطح ولتاژ نامی را صادر نماید. با افزایش جریان تحریک (فوق تحریک) توان راکتیو توسط ژنراتور تولید می‌شود و که در نتیجه توازن توان راکتیو در شبکه بر قرار می‌شود که این توازن توان راکتیو در شبکه تضمینی بر ثابت بودن ولتاژ و کنترل توان راکتیو به منزله کنترل ولتاژ شبکه می‌باشد.

- آزمایش‌های قبل از اتصال :

آزمایش‌هایی که برای قبول عملکرد اتصال مولدهای مقیاس کوچک به شبکهٔ توزیع، بر روی کلیهٔ تجهیزات مولدهای مقیاس کوچک قبل از اتصال به شبکه (بهره‌برداری موازی) صورت می‌پذیرد. این آزمایش‌ها شامل آزمایش‌های نوع (طراحی)، آزمایش‌های تولید و آزمایش‌های راه‌اندازی می‌باشد که در فاز سوم پروژه به طور مفصل توضیح داده خواهند شد.

- آزمایش‌های دوره‌ای :

آزمایش‌هایی که برای اطمینان از عملکرد صحیح تجهیزات مولدهای مقیاس کوچک در دوره‌های زمانی مشخص انجام می‌گیرد. در زمان انجام آزمایش‌های راه‌اندازی، توافقی بین بهره‌بردار شبکه و سرمایه‌گذار مولد مقیاس کوچک برای انجام آزمایش‌هایی به صورت دوره‌ای و در فواصل زمانی معین انجام می‌گیرد.

۱-۵-۲- تعاریف مربوط به مطالعات پخش بار :

- پخش بار

پخش‌بار عبارت است از محاسبه کمیت‌های الکتریکی سیستم قدرت در حالت ماندگار به ازای بارهای مشخص و معلوم. این کمیت‌ها شامل ولتاژ شینه‌ها، توان‌های اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتورها و توان‌های اکتیو و راکتیو جاری در خطوط انتقال و فیدرهای توزیع می‌باشند.

انواع پخش بار عبارتند از: پخش بار نیوتن رافسون، پخش بار پسرو-پیشرو، پخش بار مستقیم

- پخش بار در شبکه‌های توزیع

با توجه به نامتعادل بودن سیستم‌های توزیع باید پخش بار بصورت سه فاز انجام شود. هم‌چنین با توجه به تنوع بار در سیستم توزیع (بارهای توان ثابت، جریان ثابت، امپدانس ثابت و یا ترکیبی از آن‌ها) مدلسازی بارها نیز باید در محاسبات پخش بار لحاظ شود.

- انواع شینه‌ها در شبکه‌های قدرت

بر اساس تعریف مداری می‌توان هر نقطه‌ای از شبکه که محل اتصال حداقل ۲ عنصر شبکه باشد را یک شینه نامید. در شبکه‌های انتقال شینه‌ها یا گره‌ها، پست‌های تحویل توان به شبکه یا مصرف‌کننده‌ها می‌باشند، پاره‌ای از پست‌ها نیز برای تبدیل سطوح ولتاژ و یا سوئیچینگ بین خطوط مختلف احداث می‌شوند. در شبکه‌های توزیع فشار متوسط شینه‌ها معمولا محل نصب ترانسفورماتورهای توزیع یا T-off-های خطوط می‌باشند. در شبکه‌های توزیع فشار ضعیف هر یک از مصرف کنندگان می‌تواند بعنوان یک شینه تلقی شود..

- شینه مرجع

این شینه را شینه مادر یا شینه اسلک و یا شینه سوئینگ هم می‌نامند. شینه مرجع در سیستم‌های قدرت دارای دو نقش اساسی زیر می‌باشد:

۱- مرجع ولتاژ برای مدار الکتریکی سیستم قدرت. معمولا ولتاژ این شینه یک پریونیت با زاویه صفر انتخاب می‌شود.

۲- تامین توان تلفاتی شبکه. ازاینرو تنها شینه‌ای است که در معادلات پخش بار توان اکتیو تولیدی آن متغیر می‌باشد.

در شبکه‌های توزیع فشار متوسط پست فوق توزیع و در شبکه‌های فشار ضعیف پست توزیع بعنوان شینه مرجع انتخاب می‌شوند. لازم به ذکر است که در هر شبکه قدرت، تنها یک شینه باید نقش مرجع را داشته باشد.

- شینه‌های بار یا PQ

در این شینه‌ها توان‌های اکتیو و راکتیو مشخص می‌باشد و مقادیر مجهول آنها شامل اندازه و زاویه ولتاژها می‌باشد. مدلسازی این شینه‌ها بعلت عدم وجود محدودیت‌های کنترلی نسبت به شینه‌های نوع PV ساده‌تر می‌باشد. شینه‌های بدون ژنراتوری که مقدار توان اکتیو و راکتیو مصرفی آنها مشخص می‌باشد، در این دسته قرار می‌گیرند.

در شبکه‌های توزیع سنتی تمام شینه‌ها بجز شینه مرجع دارای توان اکتیو و راکتیو مصرفی مشخص می‌باشند و از طرفی دیگر ولتاژ آنها مشخص نیست. بنابراین در زمره شینه‌های PQ دسته‌بندی می‌شوند.

- شینه‌های کنترل ولتاژ یا PV

برای تنظیم پروفیل ولتاژ در شبکه‌های قدرت، معمولاً در شینه‌های دارای ژنراتور وسایل کنترل ولتاژ (سیستم کنترل توربوژنراتور در نیروگاه‌ها و یا ترانسفورماتورهای تنظیم) نصب می‌شود. با کمک این وسایل اندازه ولتاژ شینه با تغییر تزریق توان راکتیو تثبیت می‌شود. از این رو به این شینه‌ها، شینه‌های کنترل ولتاژ می‌گویند. کمیت‌های مجهول در اینجا توان راکتیو و زاویه ولتاژ می‌باشند.

با توجه به اینکه اکثر نیروگاهها در بخش انتقال واقع هستند و در بخش توزیع عملا نیروگاهی وجود ندارد. از اینرو مشخص است که بعلت نبود واحدهای تولید در شبکه‌های توزیع وجود چنین شینه‌هایی نیز در این بخش منتفی است. البته امروز با ورود منابع تولید پراکنده در این بخش نیز می‌توان شاهد چنین شینه‌هایی بود.

۱-۵-۳- تعاریف مربوط به مطالعات اتصال کوتاه :

- اتصال کوتاه

هرگاه در نقطه‌ای از شبکه، قدرت عایقی بین یک نقطه و زمین و یا دو نقطه نسبت به یکدیگر از بین برود اصطلاحاً گفته می‌شود که در شبکه اتصال‌کوتاه رخ داده است. این موضوع معمولاً موجب ایجاد جریان‌های بزرگ سلفی در شبکه می‌گردد.

- اتصال‌کوتاه سه‌فاز متقارن:

در این نوع اتصال‌کوتاه ولتاژ شینه‌ها به صورت سه‌فاز متقارن بوده و این نوع اتصال‌کوتاه از نظر شدت، شدیدترین نوع اتصال‌کوتاه بوده و به علت تقارن و به منظور تحلیل این نوع اتصال‌کوتاه می‌توان از مدل مدار تک‌خطی استفاده نمود.

- اتصال کوتاه نامتقارن:

این نوع اتصال‌کوتاه به انواع زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

الف: اتصال‌کوتاه یک فاز به زمین (L.G)

ب: اتصال‌کوتاه دو فاز به هم (L.L)

ج: اتصال‌کوتاه دو فاز به هم به زمین (L.L.G) [۷]

- سطح اتصال کوتاه شبکه :

حداکثر جریان خطایی که ممکن است در شبکه رخ دهد.

- سطح اتصال کوتاه تجهیزات :

برای تجهیزات حفاظتی، حداکثر جریان خطایی که تجهیز قادر به قطع آن باشد. برای سایر تجهیزات شبکه، حداکثر جریان خطایی که در مدت محدود به تجهیز آسیب نرساند.

- منحنی OCC

منحنی مشخصه مغناطیسی مدار باز ژنراتور

- سهم مشارکت در جریان اتصال کوتاه:

به درصدی از جریان اتصال کوتاه که توسط مولد پراکنده و یا شبکه بالادست تزریق می‌گردد سهم مشارکت مولد پراکنده و یا سهم مشارکت شبکه بالادست در جریان اتصال‌کوتاه گفته می‌شود.

۱-۵-۴- تعاریف مربوط به مطالعات پایداری گذرا :

- پایداری گذرا :

پدیده پایداری گذرا در شبکه‌های برق با اختلالاتی مانند اتصال‌کوتاه، خروج ناگهانی یک خط پر بار، کاهش ناگهانی ولتاژ تحریک یک ژنراتور سنکرون و غیره شروع می‌گردد. در این پدیده کمیتی که تغییراتش به عنوان شاخص و ملاک اصلی پایداری و یا ناپایداری شناخته می‌گردد، انرژی جنبشی تک تک توربین- ژنراتورهای موجود در شبکه می‌باشد.

- انواع پایداری گذرا :

بطور کلاسیک، پدیده‌های پایداری که می‌توانند شبکه‌های توزیع شامل مولدهای تولید پراکنده را شامل شوند عبارتند از :

- پایداری ولتاژ
- پایداری فرکانسی
- پایداری اغتشاش کوچک توان- زاویه
- پایداری گذرای توان- زاویه

- پایداری ولتاژ :

پایداری ولتاژ عمدتاً با نحوه بارگذاری، افزایش بار و منابع توان راکتیو مرتبط بوده و مولدهای پراکنده نقش چندانی در آن نداشته و تهدید خاصی برای آنها نمی‌باشند.

- پایداری فرکانسی :

پایداری فرکانسی نیز عمدتاً در حالت کمبود تولید ناشی از ایزوله شدن شبکه توزیع به همراه مولدهای پراکنده ایجاد می‌شود و در صورتی قابل توجه خواهد بود که بخواهیم عملکرد ایزوله از شبکه را برای مولدهای پراکنده بررسی نمائیم.

- پایداری اغتشاش کوچک توان- زاویه :

پایداری اغتشاش کوچک توان-زاویه نیز عمدتاً با میرائی نوسانات روتور مولدها مرتبط می‌باشد و از آنجائیکه مقاومت اهمی خطوط در شبکه‌های توزیع نسبتاً بزرگ است و همچنین عدم وجود سیستمهای تحریک خیلی سریع (مانند سیستم تحریک استاتیک) در مولدهای پراکنده، میرائی نوسانات تهدید و یا الزام خیلی مهمی برای اتصال اینگونه مولدها به شبکه توزیع قلمداد نمی‌شود.

- پایداری گذرای توان- زاویه :

پایداری زاویه ای روتور توانایی ماشینهای به هم پیوسته سنکرون یک سیستم قدرت است که در حالت سنکرون با یکدیگر باقی بمانند. مساله پایداری در این حالت شامل مطالعه نوسانهای الکترو مکانیکی است که به طور ذاتی در سیستم قدرت وجود دارد. عامل مهم در این مساله نحوه رفتار توان خروجی ماشینهای سنکرون در مقابل نوسانهای روتور است.

- دوره‌های زمانی روند تغییرات انرژی جنبشی در پایداری گذرا :

در پدیده پایداری گذرا برای روند تغییرات انرژی جنبشی ژنراتور بطور کلی سه دوره متمایز و اصلی بشرح زیر را می‌توان در نظر گرفت.

- دوره ماندگار پیش از اختلال (Pre Fault) :

در این دوره کلیه کمیات الکتریکی و مکانیکی مانند توان الکتریکی خروجی ژنراتور، سرعت مکانیکی، انرژی جنبشی و زاویه بار روتور همگی دارای مقادیر ثابتی هستند. همچنین، توان الکتریکی خروجی ژنراتور با توان مکانیکی توربین برابر بوده و توان شتاب دهنده ژنراتور صفر می‌باشد. در این دوره بعلت صفر بودن توان شتاب دهنده، کلیه کمیات در حالت ماندگار ثابت باقی می‌مانند. در این دوره منحنی انتقال توان ژنراتور به منحنی $P\text{-}\delta$ قبل از خطا معروف میباشد.

- دوره حین اختلال (During fault) :

در این دوره بعلت وقوع اختلال توازن بین توان الکتریکی خروجی ژنراتور و توان مکانیکی توربین بهم خورده و لذا روتور ژنراتور تحت تأثیر توان شتاب دهنده‌ای قرار می‌گیرد و به همین دلیل سرعت مکانیکی(ω_m)، انرژی جنبشی(W) و زاویه روتور (δ) همگی دچار تغییرات می‌گردند. در این دوره بعلت تغییر ساختار شبکه، منحنی انتقال توان الکتریکی ژنراتور به شبکه متفاوت از حالت قبل از اختلال خواهد بود و عمدتاً کوچکتر می‌شود. در این دوره انرژی جنبشی مجموعه توربین- ژنراتور نسبت به حالت سنکرون، تحت تأثیر توان شتاب دهنده افزایش و یا کاهش می‌یابد.

- دوره پس از اختلال (Post fault) :

در این دوره با عملکرد سیستم حفاظتی اختلال از شبکه برطرف گردیده و منحنی انتقال توان ($P-\delta$) ژنراتور به شبکه دارای شکل جدیدی می‌گردد. البته در بعضی شرایط ممکن است این دوره دقیقاً مشابه همان دوره ماندگار قبل از اختلال باشد. در این دوره روند تغییرات انرژی جنبشی توربین-ژنراتور عموماً عکس دوره حین اختلال می‌باشد، یعنی اگر ژنراتور در دوره حین اختلال انرژی جذب نموده است در این دوره انرژی از دست می‌دهد.

- زمان بحرانی رفع خطا :

برای نشان دادن درجه پایداری شبکه و ژنراتورها نسبت به یک اختلال معین، می‌توان از شاخص حداکثر زمان تحمل خطا استفاده نمود. حداکثر زمان تحمل خطا برابر زمان بحرانی رفع خطا (CCT) می‌باشد و برابر با حداکثر زمانی است که رفع خطا را می‌توان به تأخیر انداخت با شرط اینکه ژنراتورها پایدار باقی بمانند. واضح است که هر چه مقدار این زمان بیشتر باشد درجه پایداری ژنراتورها بزرگتر خواهد بود.

- امپدانس انتقالی :

امپدانس معادلی که بدون انشعاب میانی مولد پراکنده را مستقیماً به شین بی‌نهایت در شبکه متصل می‌نماید، به عنوان امپدانس انتقالی مولد پراکنده تا شین بی‌نهایت تعریف می‌شود. امپدانس انتقال یک مفهوم کلی است که راکتانس انتقال حالت خاصی از آن است که در آن از مقاومت اهمی خطوط و یا ترانسفورماتورها صرفنظر می‌شود.

- توان انتقالی مولد پراکنده :

توان تولیدی ژنراتور که به زاویه روتور ($P(\delta)$) وابسته است.

سنکرون‌کردن :

سنکرون کردن به عمل تطابق دامنهٔ ولتاژ، زاویهٔ فاز و فرکانس بین شبکهٔ برق و مولد مقیاس کوچک در محدوده مجاز، قبل از اتصال مولد مقیاس کوچک به شبکه گفته می‌شود.

- جزیره شدن ناخواسته :

جزیره‌ای شدن ناخواسته به قطع ارتباط و قطع تغذیه مجموعه‌ای از شبکه برق با شبکه سراسری و تغذیه این بخش از شبکه برق توسط منابع تولید پراکنده اطلاق می‌شود که به دلیل از دست رفتن توان یا به دلیل از دست رفتن خطوط ارتباطی ایجاد می‌شود. باید توجه داشته شود که تغذیه بار محلی توسط منبع تولید پراکنده (نیروگاه‌های خود تأمین) در صورت قطع ارتباط با شبکه سراسری، جزیره شدن محسوب نمی‌شود.

۱-۵-۵- تعاریف مربوط به مطالعات کیفیت توان :

- تنظیم ولتاژ :

تنظیم ولتاژ توانایی سیستم برای تولید یک ولتاژ ثابت را در محدوده‌ای از بار نشان می‌دهد. مسئولیت تنظیم ولتاژ در شبکه برق برعهده بهره‌بردار شبکه است بنابراین، منابع تولید پراکنده در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در نقاط مختلف فیدر نیستند.

- فلیکر :

فلیکر یکی از پدیده‌های کیفیت توان می‌باشد که غالباً با تغییرات قابل توجه در نور خروجی از چراغ‌های تابان در ارتباط است که به وسیلهٔ تغییرات ناچیز در سطوح ولتاژ ایجاد می‌شود. علت اصلی به وجود آمدن فلیکر مخصوصاً برای لامپهای التهابی، نوسانات ولتاژ متناوب تغذیه لامپ است.

-فرورزنانس:

فرورزنانس یک پدیده تشدید غیر خطی است که می‌تواند شبکه را تحت تأثیر قرار دهد. این پدیده می‌تواند در یک مدار الکتریکی که حداقل شامل یک اندوکتانس غیر خطی فرومغناطیسی، یک خازن و یک منبع ولتاژ سینوسی باشد رخ دهد.

۱-۵-۶- تعاریف مربوط به مطالعات هماهنگی حفاظتی :

- هماهنگی حفاظتی

هماهنگی حفاظتی به عملکرد به موقع و صحیح تجهیزات حفاظتی(رله های جریانی) پیش بینی شده در مکان‌های مناسب برای حفاظت از شبکه توزیع به هنگام وقوع خطا گفته می‌شود بطوریکه توالی عملکرد رله‌های جریانی موجود رعایت شود. اصلی ترین تجهیز حفاظتی پیش بینی شده رله‌ها می‌باشند. رله‌ها به هنگام وقوع خطا دو نقش می‌پذیرند: اصلی و پشتیبان

رله اصلی، نزدیک‌ترین رله به محل وقوع خطا و اولین رله‌ای است که مسئولیت قطع جریان خطای تزریقی به محل وقوع خطا را به عهده دارد و رله پشتیبان رله‌ای است که در صورتیکه رله اصلی به هر دلیلی عمل نکند با رعایت CTI (فاصله زمانی هماهنگی) مسئولیت قطع جریان خطا را بر عهده دارد. با وجود سیستم تولید پراکنده و ایجاد شبکه های از دو سو تغذیه رله هائی که در طرفین خطا قرار می گیرند در نقش اصلی بوده و رله هائی که در طرفین دو رله اصلی وجود دارند در نقش رله پشتیبان رله‌های اصلی قرار می گیرند.

- تجهیزات حفاظتی

تجهیزات حفاظتی جانبی، در برگیرنده کلیه تجهیزاتی هستند که برای حفاظت شبکه یا منابع تولید پراکنده مورد نیاز هستند. به طورکلی تجهیزات حفاظتی جانبی را می‌توان در دو دسته کلی مورد بررسی قرار داد. دسته اول شامل تجهیزاتی است که برای حفاظت شبکه توزیع در برابر تأثیرات ناشی از حضور DG در شبکه به کار می‌روند. این تجهیزات معمولاً در نقطه اتصال مشترک (PCC) و یا در بریکر فیدر اصلی عمل می‌کنند. دسته دوم دربرگیرنده تجهیزات حفاظت خود ژنراتور است که به منظور حفاظت خود ژنراتور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- **جهت مستقیم و معکوس رله**

در شبکه های فوق بدلیل استفاده از رله های جهتی لازم است جهت عملکرد مستقیم و معکوس رله ها مشخص گردد. بطور قراردادی جهت جریانی که از شبکه به محل وقوع خطا وارد می‌شود جهت اصلی و جهت جریانی که از DG به محل وقوع خطا می‌رسد جهت معکوس قرار داده می شود.

- **فاصله زمانی هماهنگی**

فاصله زمانی بین عملکرد رله اصلی و رله‌های پشتیبان

- **انواع رله‌ها**

جدول (۱-۳) : شماره رله‌ها مطابق استاندارد ANCI/IEEE

عملکرد	شماره رله	عملکرد	شماره رله
رله تعادل ولتاژ یا از دست رفتن تغذیه	۶۰	رله تأخیر زمانی وصل یا شروع به کار	۲
رله زمین‌شدن میدان	۶۴F	رله دیستانس	۲۱
رله اضافه ولتاژ زمین ژنراتور	۶۴B	رله ولت بر هرتز	۲۴
حفاظت ۱۰۰٪ زمین‌شدن استاتور با تزریق فرکانس پایین	۶۴S	رله سنکرون چک	۲۵
رله اضافه‌جریان جهت‌دار AC	۶۷	رله افت ولتاژ	۲۷
رله خروج از گام	۶۸	رله افت ولتاژ هارمونیک سوم نوترال	۲۷TN
رله آلارم	۷۴	رله توان معکوس یا توان جهتدار	۳۲
رله اضافه جریان DC	۷۶	رله افت جریان یا افت توان	۳۷
رله اندازه‌گیری زاویه فاز	۷۸	رله حذف تحریک (از دست رفتن تحریک)	۴۰
رله فرکانسی	۸۱	رله اضافه جریان توالی منفی	۴۶
رله نرخ تغییرات فرکانس	۸۱R	رله اضافه ولتاژ توالی منفی	۴۷
کنترل انتخابی اتوماتیک یا رله انتقالی	۸۳	رله حرارتی ماشین یا ترانسفورماتور	۴۹
رله حامل یا سیم پایلوت	۸۵	رله اضافه جریان آنی	۵۰
رله قفل (lock out)	۸۶	رله دیفرانسیلی قطع فاز	۵۰DT
رله دیفرانسیل	۸۷	تحریک غیرعمدی	۵۰/۲۷
رله کمکی تریپ	۹۴	رله خرابی بریکر فاز	۵۰BF
رله اضافه ولتاژ	۵۹	رله اضافه جریان معکوس زمانی AC	۵۱

تمامی رله‌های موجود در جدول ۱-۳ به طور مفصل در گزارش تجهیزات جانبی و گزارش تجهیزات حفاظتی معرفی شده‌اند.

۱-۵-۷- تعاریف مربوط به مطالعات سیستم زمین :

- زمین (ارت):

رسانندگی جرم زمین در صورتی که پتانسیل الکتریکی در هر نقطه از زمین به صورت قراردادی برابر صفر در نظر گرفته شود، را زمین (ارت) می‌نامند.

- الکترود زمین (الکترو ارت):

رسانا یا گروهی از رساناهای متصل به هم که اتصال الکتریکی به زمین را فراهم می‌کنند

- سیستم اتصال به زمین (ارتینگ):

یک یا چند الکترود همراه با سیم‌های زمین را که قابلیت اتصال به ترمینال اصلی داشته باشند، سیستم اتصال به زمین (ارتینگ) می‌نامند.

- انواع سیستم‌های زمین

استاندارد بین‌المللی ۶۰۳۶۴ *IEC* نحوه زمین کردن سیستم قدرت و تجهیزات را به سه دسته تقسیم‌بندی می‌کند: سیستم‌های **TN**، سیستم‌های **TT** و سیستم‌های **IT**. که در این سیستم‌ها حرف اول نشان‌دهنده نحوه اتصال بین تجهیزات تأمین‌کننده توان و زمین (ژنراتور یا ترانسفورماتور) است :

T : نشان‌دهنده اتصال مستقیم یک نقطه با زمین است.

I : هیچ نقطه‌ای از سیستم یا تجهیزات به طور مستقیم به زمین متصل نیست (ایزوله) مگر با یک امپدانس بزرگ.

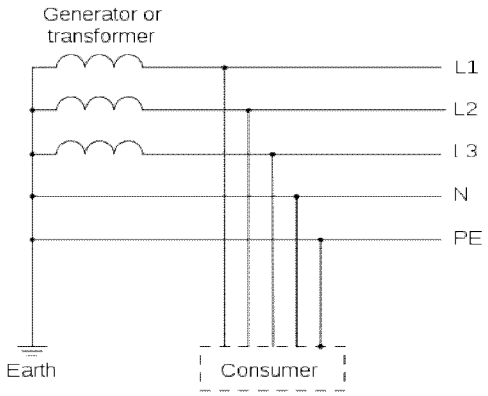
حرف دوم نشان‌دهنده نحوه اتصال تجهیزات الکتریکی تغذیه شونده و زمین است :

T : اتصال مستقیم یک نقطه از تجهیزات تغذیه شونده با زمین (چاه ارت جداگانه)

N : اتصال مستقیم به سیم نوترال شبکه در محل نصب تجهیز

سیستم‌های TN:

در سیستم‌های زمین **TN** یک نقطه از ژنراتور یا ترانسفورماتور به زمین متصل می‌شود که معمولاً نقطه ستاره یک سیستم سه‌فاز می‌باشد. بدنه تجهیزات الکتریکی از طریق اتصال زمین ترانسفورماتور به زمین متصل می‌شود.



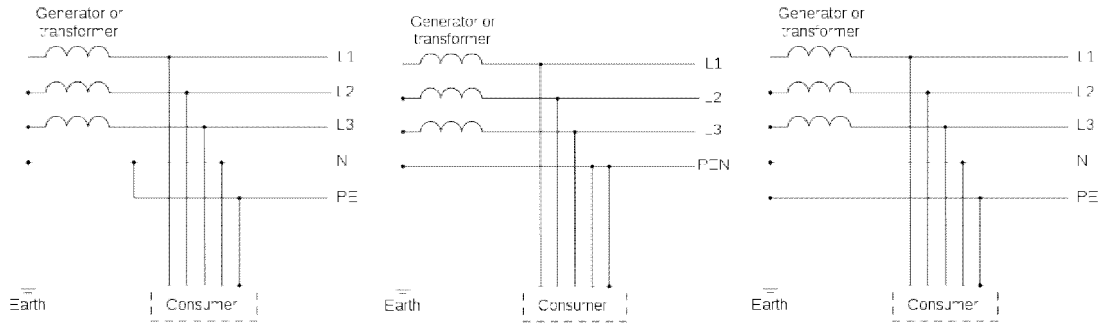
شکل (۱-۵) : سیستم زمین **TN**

متصل کردن قسمتهای فلزی در معرض برقدار شدن تجهیز به زمین را زمین حفاظتی(PE) می‌نامند و هادی که به منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد هادی حفاظتی نامیده می‌شود. و هادی که به نقطه ستاره یک سیم‌پیچ در یک سیستم سه‌فاز متصل می‌شود و یا جریان برگشتی را در یک سیستم تکفاز از خود عبور می‌دهد، زمین الکتریکی یا نوترال (**N**) نامیده می‌شود. سیستم‌های **TN** به چند دسته تقسیم می‌شوند :

TN-S : در این سیستم زمین حفاظتی و نوترال، هادی‌های جداگانه‌ای هستند که تنها در نزدیکی منبع به یکدیگر متصل می‌شوند.

TN-C : در این سیستم یک هادی (**PEN**) هم نقش هادی حفاظتی را بر عهده دارد و هم نقش نوترال.

TN-C-S : در این سیستم از محل ترانسفورماتور تا محل مشترک از یک هادی مشترک (**PEN**) جهت هادی حفاظتی و هادی نوترال استفاده می‌شود اما در محل استقرار تجهیزات الکتریکی، هادی حفاظتی و هادی نوترال از هم جدا می‌شوند.

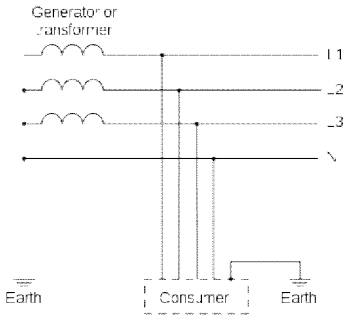


a b c

شکل (۱-۶) : *a*) **شبکه زمین** *TN-S* *b*) **شبکه زمین** *TN-C* *c*) **شبکه زمین** *TN-C-S*

سیستم‌های TT :

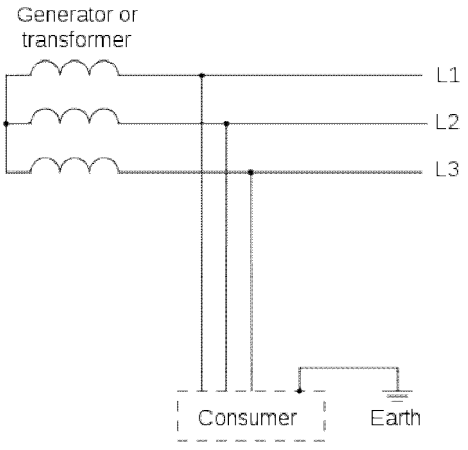
در یک سیستم زمین **TT**، اتصال زمین حفاظتی تجهیزات مشترکین از طریق اتصال زمین محلی (چاه ارت جداگانه) فراهم می‌شود که مستقل از هرگونه اتصال زمین در محل ژنراتور می‌باشد. مزیت عمده سیستم‌های **TT**، مصون بودن آن از هرگونه نویز و اغتشاش فرکانس بالا و فرکانس پایین که می‌تواند در اثر عملکرد تجهیزات متصل به نوترال به وجود آید، است.



شکل (۱-۷) : سیستم زمین *TT*

سیستم‌های IT:

در یک سیستم **IT**، شبکه توزیع هیچ‌گونه اتصالی به زمین ندارد یا تنها از طریق یک امپدانس بزرگ به زمین متصل می‌شود. در چنین سیستمی، از یک تجهیز جهت مونیتورینگ وضعیت عایقی سیستم به منظور مونیتور کردن امپدانس استفاده می‌شود. معمولاً به دلیل امنیت پایین این نوع سیستم‌ها، از چنین سیستمی خیلی کم استفاده می‌شود.



شکل (۱-۸) : سیستم زمین *IT*

فصل دوم

داده‌های مورد نیاز

و نحوه جمع‌آوری آن‌ها

۲-۱- مقدمه

در این فصل نخست به معرفی داده‌های مورد نیاز تجهیزات مورد استفاده در طرح اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه پرداخته می‌شود و سپس نحوه جمع‌آوری این اطلاعات و مراجع مربوطه بیان می‌گردد.

۲-۲- داده‌های مورد نیاز

۲-۲-۱- ژنراتورها :

جدول (۲-۴) : داده‌های مورد نیاز ژنراتور

داده مورد نیاز ژنراتور	پخش بار	اتصال کوتاه	پایداری گذرا	کیفیت توان	هماهنگی حفاظتی	سیستم زمین
توان نامی ژنراتور	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ولتاژ نامی ژنراتور	✓	✓	✓	✓	✓	✓
نسبت مقاومت به راکتانس زیرگذر ژنراتور		✓	✓		✓	✓
ضریب قدرت نامی ژنراتور	✓	✓	✓	✓	✓	✓
امپدانس‌های توالی مثبت و منفی و صفر		✓	✓		✓	✓
آرایش سیم پیچی	✓	✓	✓	✓	✓	✓
نحوه اتصال نقطه نول به زمین		✓	✓	✓	✓	✓
ثابت اینرسی مولد پراکنده و محرک اولیه			✓		✓	
مقاومت اهمی آرمیچر	✓	✓	✓	✓	✓	✓
راکتانس سنکرون	✓	✓	✓	✓	✓	✓
راکتانس کندگذر		✓	✓		✓	
راکتانس تندگذر		✓	✓		✓	
راکتانس اشباع شده		✓	✓		✓	
قطب صاف و یا برجسته	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ثابت زمانی مدار باز تحریک		✓	✓		✓	
ولتاژ تحریک ماکزیمم به ولتاژ تحریک نامی		✓	✓		✓	
منحنی مغناطیسی		✓	✓	✓		✓
پارامترهای سیستم تحریک		✓	✓		✓	

۲-۲-۲- فیدرهای عمومی و اختصاصی :

جدول (۲-۵) : داده‌های مورد نیاز فیدرهای عمومی و اختصاصی

داده‌های مورد نیاز	پخش بار	اتصال کوتاه	پایداری گذرا	کیفیت توان	هماهنگی حفاظتی	سیستم زمین
نوع خط	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مقاومت خط	✓	✓	✓	✓	✓	✓
راکتانس خط	✓	✓	✓	✓	✓	✓
طول خط	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ولتاژ نامی	✓	✓	✓	✓	✓	✓
منحنی بار سالیانه	✓	✓	✓	✓	✓	✓
$\frac{R_{eq}}{Z_{eq}}^{*}$	✓	✓	✓	✓	✓	✓
امپدانس‌های توالی مثبت و منفی و صفر		✓	✓	✓	✓	✓
سوسپتانس	✓	✓	✓	✓	✓	✓

* : نسبت مقاومت معادل به امپدانس معادل شبکهٔ بالادست در نقطه اتصال فیدر

۲-۲-۳- ترانسفورماتورهای عمومی و اختصاصی و پست بالادست :

جدول (۲-۶) : داده‌های مورد نیاز ترانسفورماتورهای عمومی و اختصاصی و پست بالادست

داده مورد نیاز	پخش بار	اتصال کوتاه	پایداری گذرا	کیفیت توان	هماهنگی حفاظتی	سیستم زمین
توان نامی ترانسفورماتور	✓	✓	✓	✓	✓	✓
تپ ترانسفورماتور پست بالادست DG	✓	✓	✓	✓	✓	
امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور	✓	✓	✓	✓	✓	✓
نسبت تبدیل نامی	✓	✓	✓	✓	✓	✓
امپدانس‌های توالی مثبت و منفی و صفر		✓	✓	✓	✓	✓
نوع سیم‌بندی و گروه برداری		✓	✓	✓	✓	✓
منحنی اشباع (در صورت وجود)			✓	✓	✓	✓
جریان و تلفات بی‌باری					✓	✓
تلفات بار در جریان نامی	✓	✓	✓	✓	✓	✓

۲-۲-۴- بارهای موجود در شبکه مورد مطالعه :

جدول (۲-۷) : داده‌های مورد نیاز بارهای موجود در شبکه مورد مطالعه

داده مورد نیاز	پخش بار	اتصال کوتاه	پایداری گذرا	کیفیت توان	هماهنگی حفاظتی	سیستم زمین
نوع مصرف (خانگی، تجاری، صنعتی و ....)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ضریب توان	✓	✓	✓	✓	✓	✓
(P و Q) یا (R و X)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ضریب بار	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ضریب همزمانی	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مختصات جغرافیایی بر حسب (x,y)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

۲-۲-۵-کلیدهای قدرت

جدول (۲-۸) : داده‌های مورد نیاز کلیدهای قدرت

داده مورد نیاز کلیدهای قدرت	پخش بار	اتصال کوتاه	پایداری گذرا	کیفیت توان	هماهنگی حفاظتی	سیستم زمین
جریان نامی	✓			✓	✓	✓
ولتاژ نامی	✓	✓	✓		✓	
جریان قطع (قدرت قطع)					✓	✓
زمان عملکرد		✓	✓		✓	
ولتاژ حالت گذرا (TRV)		✓	✓			

۲-۲-۶- تجهیزات حفاظتی

جدول (۲-۹) : داده‌های مورد نیاز تجهیزات حفاظتی

داده مورد نیاز تجهیزات حفاظتی	پخش بار	اتصال کوتاه	پایداری گذرا	کیفیت توان	هماهنگی حفاظتی	سیستم زمین
مشخصات فنی رله‌ها		✓	✓		✓	✓
توابع حفاظتی موجود		✓	✓	✓	✓	✓
محدوده تنظیمات		✓	✓	✓	✓	✓
مقادیر نامی CTها و PTها		✓			✓	✓
کلاس دقت CTها و PTها		✓			✓	✓

۲-۲-۷- تجهیزات اندازه‌گیری

جدول (۲-۱۰) : داده‌های مورد نیاز تجهیزات اندازه‌گیری

داده مورد نیاز تجهیزات حفاظتی	پخش بار	اتصال کوتاه	پایداری گذرا	کیفیت توان	هماهنگی حفاظتی	سیستم زمین
محدوده اندازه‌گیری		✓	✓	✓	✓	
کلاس دقت		✓	✓	✓	✓	

۲-۲-۸- سایر داده‌های فنی شبکه :

- ✓ اطلاعات پایه ی پخش بار نظیر نقشه کامل شبکه‌ی مورد مطالعه در محیط نرم افزارهایی چون GIS و Autocad به همراه طول فیدرها به صورت جزء به جزء و جنس و سطح مقطع فیدرها در هر قسمت از خط می‌باشد. (چنانچه در مورد خطوط توزیع چه به صورت هوایی و چه به صورت کابل عموماً اطلاعات اتصال کوتاه نظیر امپدانسهای مولفه صفر و منفی در دسترس نباشد ضرایب متفاوتی که در مراجع معرفی شده‌اند قابل استفاده می‌باشند)
- ✓ مانورهای قابل انجام با فیدری که DG بر روی آن نصب می گردد.
- ✓ دیاگرام تک خطی پست بالا دست به همراه تمامی تجهیزات منصوبه آن نظیر ترانسفورماتورهای قدرت و خازنها و ترانسفورماتور زمین و ....
- ✓ سطح اتصال کوتاه پست بالا دست (تکفاز و سه فاز) در هر دو سطح ولتاژ دو سر ترانسفورماتور قدرت پست بالا دست
- ✓ آمار دقیق تعداد، ظرفیت و محل DG های نصب شده (یا در حال نصب) در شبکه مورد مطالعه
- ✓ هارمونیک تزریقی از شبکه بالادست
- ✓ تنظیمات و نوع منحنی رله‌های اضافه جریان و اتصال زمین در پست بالادست

۲-۳- نحوه جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز بایستی به مرجع مربوطه مراجعه شود، در این بخش به معرفی مراجع ذیربط و داده‌هایی که در اختیار آن‌ها است می‌پردازیم. اولین مرجع برای دریافت اطلاعات شرکت توزیع مربوطه است، شرکت توزیع اطلاعات زیر را در اختیار دارد :

- اطلاعات شبکه فشار متوسط و فشار ضعیف
- اطلاعات مربوط به پست‌های هوایی و زمینی
- اطلاعات میزان مصرف و دیماند مشترکین
- مشخصات منابع تولید پراکنده‌ای که در شبکه فشار ضعیف و یا فشار متوسط نصب شده‌اند

دومین مرجع شرکت برق منطقه‌ای است، از این شرکت می‌توان داده‌های زیر را دریافت نمود.

- بار فیدرها
- مشخصات ترانسفورماتورهای فوق توزیع و انتقال
- مشخصات شبکه فوق توزیع و انتقال
- مشخصات پست فوق توزیع و تنظیمات حفاظتی آن
- مشخصات منابع تولید پراکنده‌ای که در شبکه فوق توزیع نصب شده‌اند

سومین مرجع برای جمع‌آوری اطلاعات، سازندگان تجهیزات الکتریکی هستند. مشخصات منابع تولید پراکنده و کلیه تجهیزاتی که در پست اختصاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند (مانند ترانسفورماتورها، کلیدها، تجهیزات اندازه‌گیری و حفاظتی و فیدرهای اختصاصی) می‌بایست توسط شرکت‌های سازنده این تجهیزات در اختیار مالک تولید پراکنده قرار بگیرد.

فصل سوم

مطالعات پخش بار

۳-۱- مقدمه

تحلیل یک شبکه‌ی قدرت شامل مطالعه‌ی آن در شرایط بهره‌برداری نرمال و پایدار (تحلیل پخش بار) و همچنین مطالعه آن در شرایط اتصال‌کوتاه (تحلیل اتصال کوتاه) می‌باشد. مطالعه پخش‌بار به محاسبه کمیت‌های الکتریکی سیستم قدرت در حالت ماندگار به ازای بارهای مشخص و معلوم می‌پردازد. این کمیت‌ها شامل ولتاژ شینه‌ها، توان‌های اکتیو و راکتیو تولیدی ژنراتورها و توان‌های اکتیو و راکتیو جاری در خطوط انتقال و فیدرهای توزیع می‌باشد. بنابراین به طور خلاصه می‌توان گفت که محاسبات پخش‌بار بطور کلی حل یک سیستم قدرت در حالت ماندگار است. تقریبا در همه موضوعات مربوط به توسعه، بهره‌برداری و مدیریت شبکه‌های قدرت از قبیل کاهش تلفات، کنترل ولتاژ، برنامه‌ریزی توان راکتیو، خازن‌گذاری، تحلیل امنیت و ... پخش‌بار جزء اولویت‌های اصلی می‌باشد.

ماهیت غیر خطی معادلات مربوط به محاسبات اتصال‌کوتاه در شبکه‌های توزیع و گستردگی و تنوع زیاد تجهیزات به کار رفته در این شبکه‌ها از یک طرف و لزوم تصمیم‌گیری سریع و صحیح در هنگام بهره‌برداری از طرف دیگر موجب شده است که برای انجام مطالعات اتصال کوتاه نیازمند استفاده از نرم‌افزار باشیم. **در این راهنما برای حفظ جنبه کاربردی راهنمای ارائه شده نحوه انجام مطالعات در نرم‌افزار DIgSILENT توضیح داده شده است. (شایان ذکر است استفاده از نرم‌افزار مذکور الزامی نیست و می‌توان از هر نرم‌افزار مورد تایید دیگر استفاده نمود)**

۳-۲- هدف

هدف اصلی از مطالعات پخش بار محاسبه ولتاژ شینه‌ها و جریان خطوط است.

۳-۳- انجام محاسبات پخش بار به وسیله نرم‌افزار

ماهیت غیر خطی معادلات مربوط به محاسبات پخش‌بار در شبکه‌های توزیع و گستردگی و تنوع زیاد تجهیزات به کار رفته در این شبکه‌ها از یک طرف و لزوم تصمیم‌گیری سریع و صحیح در هنگام بهره‌برداری از طرف دیگر موجب شده است که برای انجام مطالعات پخش‌بار و به طور کلی تمامی مطالعات سیستم نیازمند استفاده از نرم‌افزار باشیم. استفاده از یک نرم‌افزار جهت حل یک مسئله پخش بار شامل مراحل زیر می‌باشد:

۳-۳-۱- جمع آوری اطلاعات

نحوه جمع‌آوری اطلاعات در بخش ۲-۳ توضیح داده شده است.

۳-۳-۲- مدل‌سازی

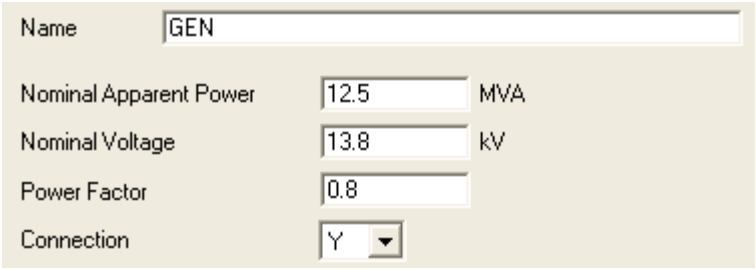
- نحوه مدلسازی اجزای مختلف شبکه :

در این قسمت به صورت گام به گام نحوه مدلسازی تجهیزات برای اتصال کوتاه را توضیح خواهیم داد. تجهیزات را به ماشین، ترانسفورماتور، خط، شین بی‌نهایت که در ادامه به صورت توضیح داده می‌شود.

الف) ژنراتور سنکرون

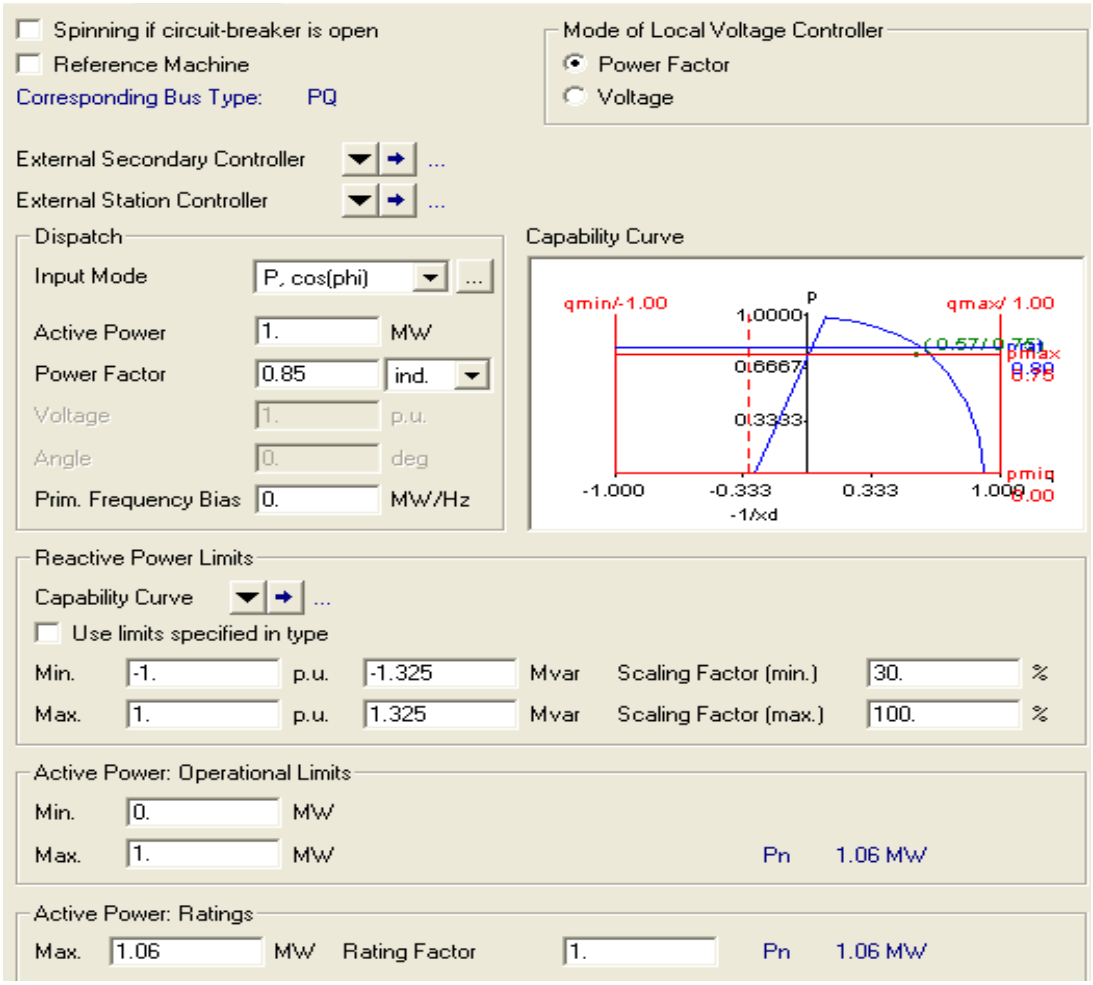
ژنراتور سنکرون برای محاسبات پخش‌بار باید به صورت منبع توان اکتیو و راکتیو در سه مولفه مثبت و منفی و صفر به شکل زیر مدلسازی گردد :

برای مثال در نرم‌افزار **DIgSILENT** داده‌های پایه‌ی ژنراتور به صورت زیر مدل می‌شود، که شامل توان ظاهری (بر حسب **MVA**)، ولتاژ نامی، ضریب توان و اتصال آن (برای مثال ستاره) می‌باشد.



شکل (۳-۱) : داده‌های پایه‌ی ژنراتور سنکرون برای محاسبات پخش بار

دیگر داده‌های مورد نیاز مربوط به توان اکتیو و راکتیو نامی ژنراتور و همچنین محدودیت‌های تولید توان اکتیو و راکتیو ژنراتور می‌باشد، در نرم‌افزار **DIgSILENT** این داده‌ها ژنراتور به صورت زیر مدل می‌شود:



شکل (۳-۲) : توان تولیدی اکتیو و راکتیو ژنراتور و محدودیت‌های آن

همان طور که در شکل ۳-۲ دیده می شود ژنراتور به صورت ضریب قدرت ثابت مدل می‌گردد که در شکل با انتخاب گزینه **Power Factor** مشخص شده است.

موارد مربوط به تولید پراکنده در شکل ۳-۲ به صورت زیر است:

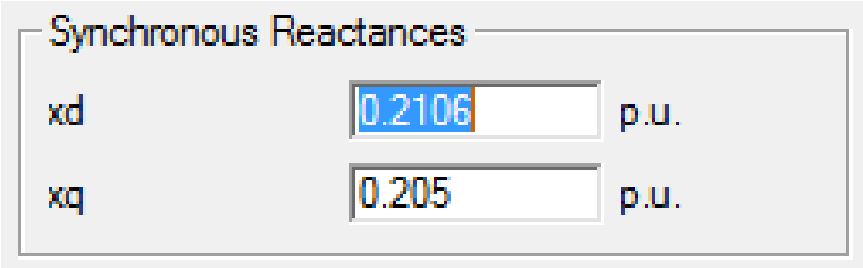
- گزینه **Reference Machine** مربوط به زمانی است که تولید پراکنده فقط بار محلی را تغذیه می‌کند، زمانی انتخاب می‌شود که ژنراتور مرجع (اسلک) باشد.

- توان اکتیو (**Active power**) تولیدی ژنراتور بر اساس مقدار خروجی حقیقی موتور محرک ژنراتور که در برگه مشخصات موتور آمده است مشخص می‌گردد.

- ضریب قدرت (**power factor**) عموما در محدوده ۰.۸۵ تا ۰.۹۵ انتخاب می‌گردد که در صورت وجود محدودیت ولتاژی در شینه‌های فشار ضعیف پست تولید پراکنده ضریب قدرت بر اساس اضافه ولتاژ یا افت ولتاژ تنظیم می‌گردد.

- ماکزیمم و مینیمم توان راکتیو (**Reactive power operation limits**) در شکل ۳-۲ بر اساس توان اکتیو و ضریب قدرت وارد شده در شکل ۳-۲ و ظرفیت نامی ژنراتور در شکل ۳-۱ به صورت خودکار محاسبه شده و نیازی به وارد نمودن توسط کاربر نمی‌باشد.

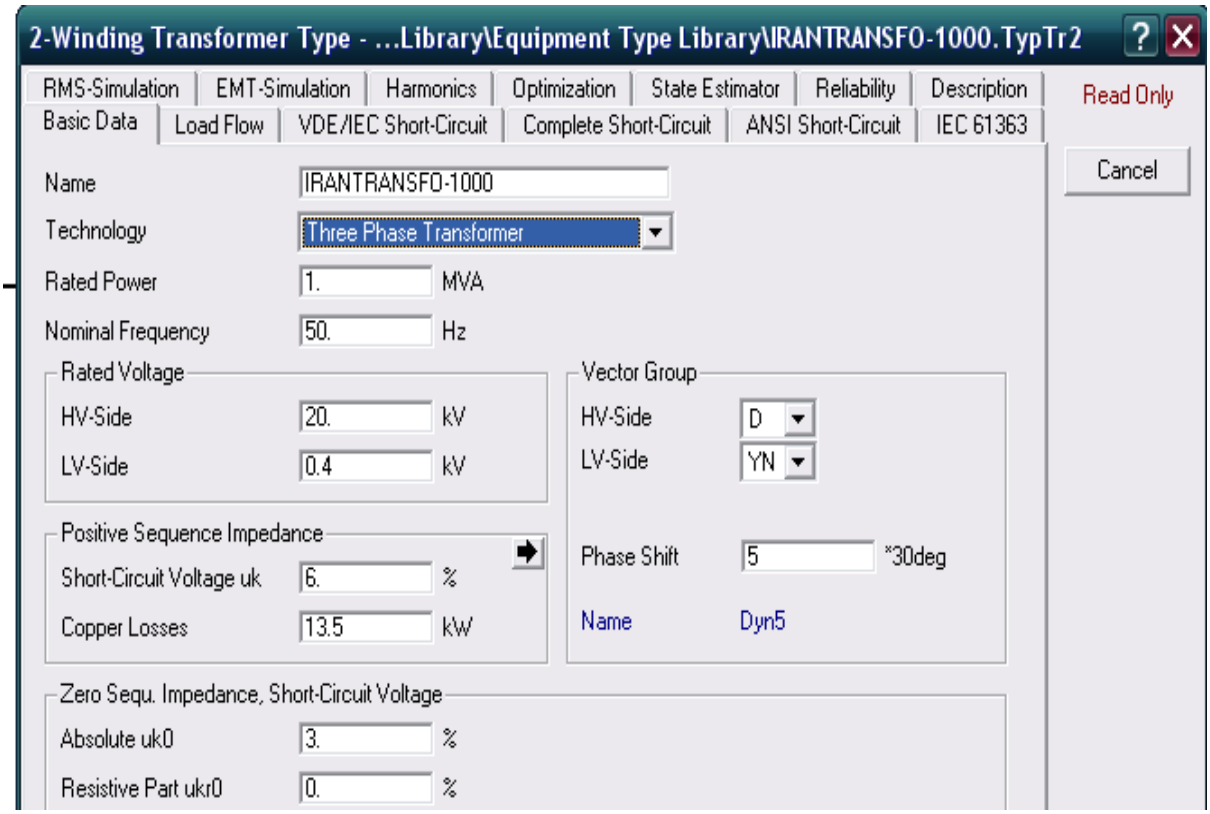
برای مطالعات پخش بار به مقادیر $\mathbf{X_q}$ و $\mathbf{X_d}$ نیز نیاز است که این اطلاعات به صورت شکل ۳-۳ وارد می‌شود.



شکل (۳-۳) : راکتانس طولی و عرضی ژنراتور

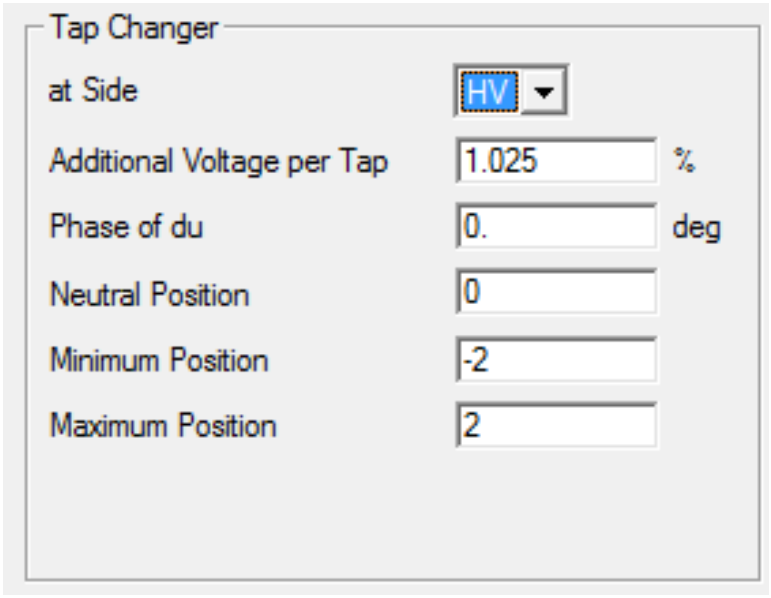
ب) ترانسفورماتور :

برای مدلسازی ترانسفورماتورهای قدرت چه ترانسفورماتورهای پست تولید پراکنده و چه ترانسفورماتورهای پست بالادست **DG** پس از مشخص شدن سطح ولتاژ ترانسفوماتورها و شرکت سازنده باید تمامی اطلاعات ترانسفورماتور را در نرم‌افزار مورد نظر وارد کرد. برای مثال Uk% و مقدار تلفات سیم پیچی و گروه برداری ترانسفورماتور ۱۰۰۰KVA ایران- ترانسفو طبق شکل زیر وارد نرم افزار DIgSILENT شده است.



شکل (۳-۴) : اطلاعات ترانسفورماتور

علاوه بر این اطلاعات، داده‌های مربوط به تپ ترانسفورماتور نیز به صورت شکل ۳-۵ در نرم‌افزار وارد می‌شود:

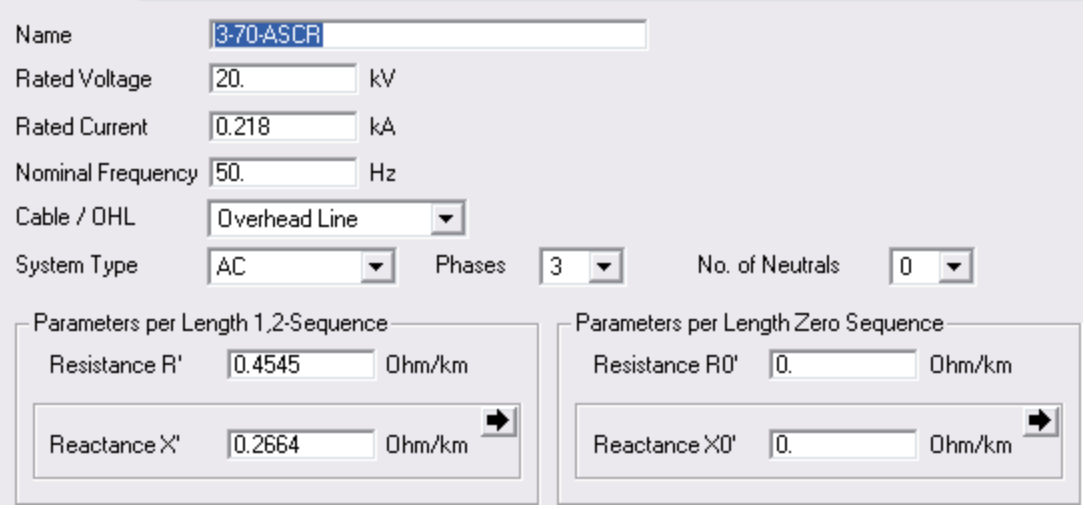


شکل (۳-۵) : داده‌های تپ ترانسفورماتور

ج) کابل

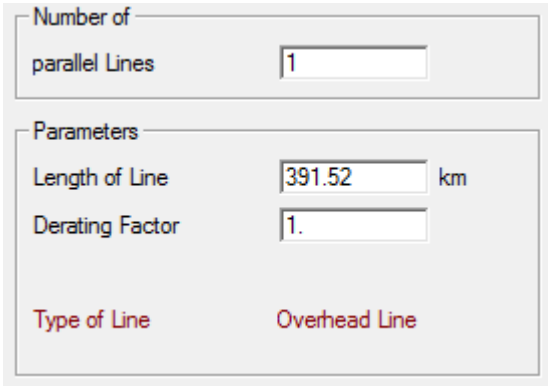
کابل‌ها و خطوط ارتباطی بین پست تولید پراکنده و شبکه را با داشتن اطلاعات مربوط به خط یا کابل مورد نظر در فیدر خاص مربوطه مدل می‌کنیم.

در شکل زیر اطلاعات خط هوایی mink با سطح مقطه ۷۰ وارد نرم افزار DIgSILENT شده است



شکل (۳-۶) : اطلاعات خط و کابل

باید به این نکته توجه داشت که اصلی‌ترین پارامتر خط در محاسبات پخش‌بار امپدانس کل آن می‌باشد. همان‌طور که از شکل بالا مشخص است واحد امپدانس خط اهم بر کیلومتر است، در نتیجه باید طول خطوط نیز مشخص باشد و هم‌چنین تعداد خطوط موازی نیز در این قسمت وارد می‌شود:



شکل (۳-۷) : داده‌ی طول و تعداد خطوط موازی

در ضمن در شکل ۳-۶ رزیستانس و راکتانس مولفه صفر خط صفر وارد شده است، اما باید برای خطوط و کابلها با در نظر گرفتن اثر سیم نوترال از رابطه زیر استفاده کرد :

$$\mathbf{R_{ol} = R_L + 3.R_{neutral}} \qquad , \qquad \mathbf{X_{ol} \approx (3,5 \ldots 4.0)x_L}$$

برای آشنایی بیشتر با محدوده مقادیر امپدانس مولفه صفر و مقایسه با مقادیر امپدانس مؤلفه مثبت کابل‌ها، مقادیر مربوطه برای چند نمونه کابل با اقتباس از **IEC** ۶۰۹۰۹ در جدول (۳-۱) آورده شده است.

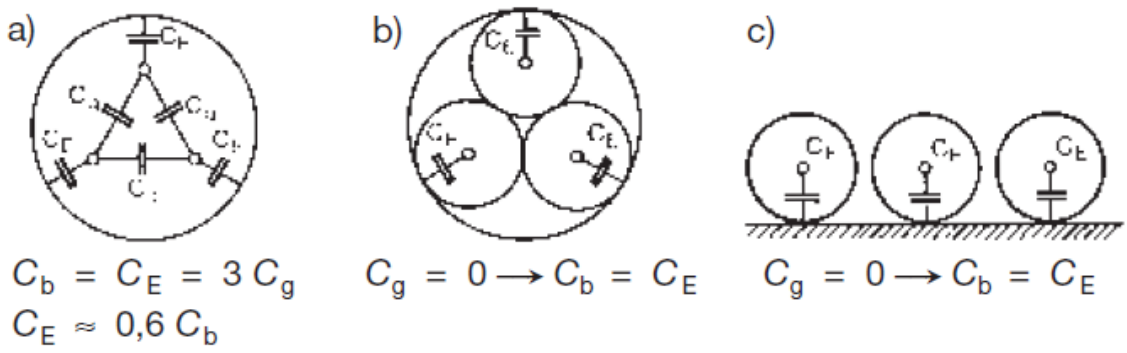
جدول (۳-۱) : نمونه‌ای از مشخصات کابل‌های ولتاژ بالا و ولتاژ پایین (مرجع IEC ۶۰۹۰۹)

No.	Rated voltage U_r 1)	Conductors: Number	Conductors: Material	Cross section and type 2)	Type of cable 3)	Assemb. of cores 4)	Shield (sheath): Type 5)	Shield (sheath): Material	Positive sequence impedance $Z'_{(1)}=R'_{(1)}+jX'_{(1)}$ 6)	Current return 7)	Zero-sequence impedance $Z'_{(0)}=R'_{(0)}+jX'_{(0)}$ 6)	Notes	Country
	kV	-	-	mm^2	-	-	-	-	Ω/km	-	Ω/km		
1	0,6/1	4	Al	240/220 rST	NR	3 1/2	-	-	0,129 + j0,04	4th + E	$4,2 \cdot R'_{(1)} + j4,6X_{(1)}$		Czechoslovakia
2	6/10	1	Cu	120 rST	R	SC	W + T	Cu	0,16 + j0,116	S + E	-	N2YSY	Hungary
3	10	3	Cu	240 rST	NR	TC	M	Pb	0,088 + j0,069	S + E	j0,242		China
4	22	3	Cu	120 rST	NR	TC	FW	Cu	0,153 + j0,104	S + E	-	DKAB	Norway
5	50	1	Al	500 r	R	SC	W	Cu	0,084 + j0,11	S + E	0,456 + j0,156		Denmark
6	110	1	Cu	240 H0	R	SC	M	Pb/Al	0,079 + j0,12	S + E	0,51 + j0,30	oil pressure	Germany
7	132	3 x 1	Cu	220 rH0	R	SC	M	Pb	0,084 + j0,12	S	0,58 + j0.061		Italy
8	275	1	Cu	1400 sST	R	SC	M	Al	0,0131 + j0,146	S + E	0,047 + j0,047		Japan
9	330	3	Cu	1200 sH0	R	SC	M	Al	0,0205 + j0,188	S + E	0,0719 + j0,0566		Australia
10	380	1	Cu	1200 sST	R	SC	M	Al	0,018 + j0,188	S	0,047 + j0,070		Austria

1) Line-to-line voltage.
2) r = round, H0 = hollow, s = sector form, ST = stranded.
3) R = radial field, NR = non-radial field.
4) SC = single core, TC = three (or more) core cable.
5) T = tapes, W = wires, M = metallic sheaths.
6) AC resistance at 20 °C.
7) S = in the shield, E = earth, 4th = fourth conductor.

اما از خازن خطوط هوایی در شبکه توزیع به علت استفاده از مدل خط کوتاه صرف نظر می شود. ولی در مورد کابلها با توجه به نوع ساختار کابل سه رابطه می توان برای آن در نظر گرفت.

با توجه به شکل ۳-۸ سه نوع ساختار می توان برای کابلها در نظر گرفت :



a) Belted cable **b) SL and H type cable** **c) single-core cable**

شکل (۳-۸) : سه نوع ساختار برای کابل

در کابلهای نوع belted خازن خط همانند خطوط بلند هوایی از رابطه زیر محاسبه می شود:

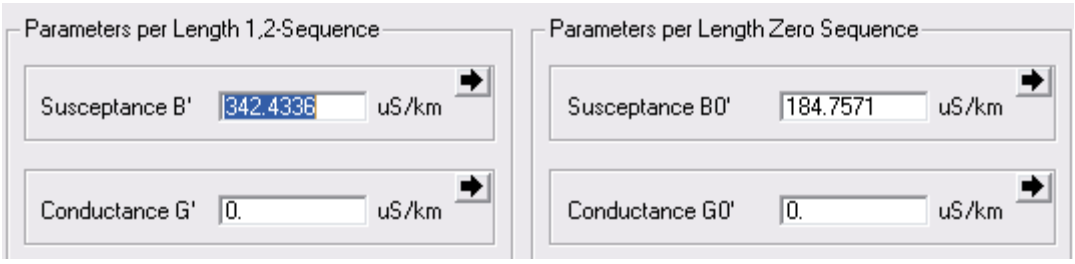
$$\boldsymbol{C_b = C_E + 3C_g}$$

در کابلهای نوع sl و تک هسته‌ای و hochstadter خازنی بین هادیها وجود نداشته و خازن کل کابل برابرست با فقط خازن بین کابل و زمین. برای مثال در جدول ۳-۲ مولفه مثبت خازن کابل مسی یا آلومینیمی نوع H با غلاف و زره نمایش داده شده است. در جدول ۳-۲ پارامتر **C** بیانگر مؤلفه مثبت ظرفیت خازنی خط در هر کیلومتر است

جدول (۳-۲) : ظرفیت خازنی در سیستم مؤلفه مثبت برای یک نمونه کابل (hochstadtercable)

سطح مقطع کابل	C (μF/km)	
	۲۰ کیلوولت	۳۳ کیلوولت
۳ × ۲۵	۰/۲۰۲	–
۳ × ۳۵	۰/۲۲۲	–
۳ × ۵۰	۰/۲۴۷	۰/۲۳۰
۳ × ۷۰	۰/۲۷۹	۰/۲۵۰
۳ × ۹۵	۰/۳۱۲	۰/۲۸۰
۳ × ۱۲۰	۰/۳۴۲	۰/۳۱۰
۳ × ۱۵۰	۰/۳۶۹	۰/۳۳۰
۳ × ۱۸۵	۰/۴۰۲	۰/۳۶۰
۳ × ۲۴۰	۰/۴۴۷	۰/۴۰۰
۳ × ۳۰۰	۰/۴۸۹	۰/۴۳۰

در نهایت باید خازن مولفه صفر کابل را نیز در داخل تایپ کابل نرم‌افزار وارد کرد که در این زمینه نیز مراجع مختلف از روشهای متفاوتی استفاده کرده‌اند.



شکل (۳-۹) : اطلاعات مربوط به سوسپتانس و کنداکتانس

در مورد کابلها علاوه بر داده های فوق باید حد ماکزیمم تحمل جریان کوتاه مدت کابل نیز در برگه اتصال کوتاه آن وارد گردد، برای مثال در جدول ۳-۳ حد مجاز جریان قابل تحمل کابلهای مختلف ارائه گشته است.

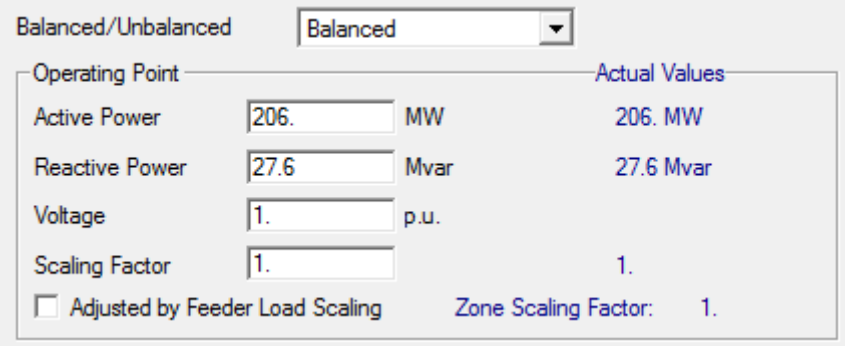
جدول (۳-۳) : جریان اتصال کوتاه برای کابل‌های گوناگون

نوع عایق		فلز رسانا	دما (°C)	جریان اتصال کوتاه (A)
PVC	۱ تا ۳ kv و تا ۳۰۰ mm^2	مس	۷۰-۱۵۰	$110 \times S_T^{-1/2}$
		آلومینیوم	۷۰-۱۵۰	$71 \times S_T^{-1/2}$
	بیشتر از ۳۰۰ mm^2	مس	۷۰-۱۳۰	$96 \times S_T^{-1/2}$
		آلومینیوم	۷۰-۱۳۰	$62 \times S_T^{-1/2}$
XPLE و EPR		مس	۹۰-۲۰۰	$144 \times S_T^{-1/2}$
		آلومینیوم	۹۰-۲۵۰	$92 \times S_T^{-1/2}$

در جدول ۳-۲ **T** مدت زمان اتصال کوتاه و **S** سطح مقطع هادی می‌باشد. با توجه به این جدول با فرض آنکه حداکثر دمای قابل تحمل کابل **XLPE** ۸۰ الی ۹۰ درجه و مدت زمان تحمل جریان ۱ ثانیه باشد جریان اتصال کوتاه ماکزیمم برابر ۲۰ کیلو می‌شود.

د) بار :

در محاسبات پخش بار مقدار توان اکتیو و راکتیو هر یک از بارهای شبکه نقش تعیین‌کننده‌ای دارد البته در برخی موارد اطلاعات سرفیدر به صورت جریان و ضریب توان موجود است که میبایست توسط روابط مربوطه به توان اکتیو و توان راکتیو تبدیل گردد و سپس مقدار آن در نرم‌افزار مربوطه وارد شود:



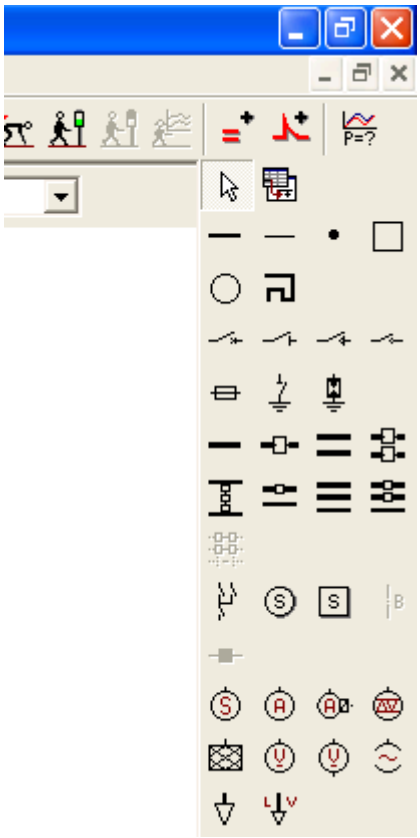
شکل (۳-۱۰) : داده‌های مربوط به یک بار شبکه

همان‌گونه که از شکل بالا مشخص است متعادل بودن و نامتعادل بودن بار نیز مشخص می‌گردد.

شایان ذکر است که در مطالعات پخش بار، بارها را توان ثابت در نظر می‌گیریم.

۳-۳-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه

بعد از تعیین داده‌های مورد نیاز شبکه و مدلسازی اجزای شبکه برای محاسبات پخش بار، کاربر باید اطلاعات مربوط به هر یک از تجهیزات شبکه را که در مدلسازی ترسیم نموده است بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در قسمت ۳-۳-۱ در نرم‌افزار تنظیم نماید. بدین منظور در نرم‌افزار پس از استفاده از المان مورد نظر شکل ۳-۱۱ جداول مخصوصی برای ورود اطلاعات طراحی شده است که کاربر بایستی با توجه به نوع اطلاعات درخواستی توسط نرم‌افزار برای هر تجهیز، اطلاعات را در نرم‌افزار تنظیم نماید.

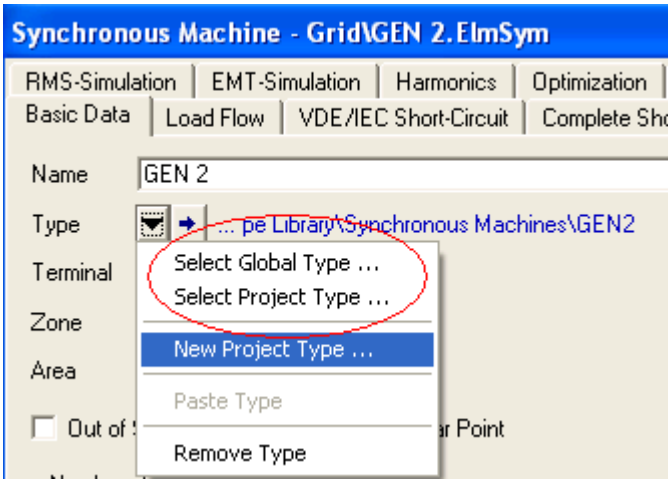


شکل (۳-۱۱) : تعریف اولیه‌ی یک المان

برای مثال در نرم‌افزار DigSILEN دو روش برای ورود داده‌ها به این نرم‌افزار وجود دارد.

۱. استفاده از کتابخانه‌ی موجود در نرم افزار و یا تعریف شده توسط کاربر

۲. تعریف یک المان جدید بر اساس داده‌های موجود



شکل (۳-۱۲) : وارد کردن داده‌های المان مورد نظر

در شکل ۳-۱۲ گزینه Global type جهت استفاده از انواع ژنراتورهای تعریف شده در خود نرم‌افزار DIgSILENT که توسط سازندگان آن ایجاد شده است می‌باشد و گزینه Project type به کاربر این امکان را می‌دهد که خود بر اساس برگه مشخصات ژنراتور یک type تعریف نماید.

۳-۳-۴- اجرای برنامه

بعد از مدلسازی شبکه و انجام تنظیمات مناسب در نرم‌افزار، بمنظور تحلیل شبکه برنامه اجرا می‌شود. در این مرحله چنانچه شبکه به درستی مدلسازی شده باشد و اطلاعات مربوط به تجهیزات و شبکه کامل و بی‌نقص در نرم‌افزار وارد شده باشند، نرم‌افزار، شبکه مدلسازی شده را تحلیل کرده و نتایج مورد درخواست کاربر را ارئه می‌نماید. در صورت بروز مشکل در حین اجرای برنامه، نرم‌افزار پیغام خطا می‌دهد که کاربر باید بعد از بررسی و رفع خطا، برنامه را دوباره اجرا نماید.

پیام‌های خطایی که ممکن است در هنگام اجرای محاسبات پخش بار داده شود می‌توانند یکی از انواع زیر باشند:

۱. عدم رعایت محدودیت‌های شبکه، از جمله: محدودیت حرارتی، محدودیت ظرفیت انتقال توان خطوط شبکه، محدودیت تولید توان راکتیو واحدهای تولیدی و ...

۲. پیام مربوط به همگرا نشدن پخش بار

۳. ...

سناریوهای اصلی پخش بار جهت مطالعات طرح اتصال شامل دو بخش اصلی به شرح زیر می‌باشد:

۱- بار فیدرها : بار فیدرها در دو حالت ماکزیمم بدون DGو ماکزیمم در حضور DG بررسی می‌گردد.

۲- مانورها : تمام حالت‌های مانوری بین فیدر نصب DG و سایر فیدرها باید در مطالعات شبیه‌سازی در نظر گرفته شود.

ترکیب دو بخش بالا حالات مختلفی را برای بهره‌برداری از شبکه ایجاد می‌کنند که برای مثال عبارتند از :

حالت اول : پخش بار در حالت ماکزیمم بار بدون DG و بدون مانور

حالت دوم : پخش بار در حالت مینیمم بار در حضور DG و بدون مانور

هر کدام از حالت‌های فوق می‌بایست برای تمام مانورهای ممکن بررسی شود. یادآور می‌گردد مانورهای ممکن و مجاز می‌بایست از شرکت برق استعلام گردد.

۳-۳-۵- تحلیل نتایج

بعد از اجرای کامل برنامه، نتایج مطالعات در اختیار کاربر قرار می‌گیرد که بایستی مورد تحلیل قرار گیرند. نتایج دور از انتظار باید به دقت بررسی شده و دلیل غیر منطقی بودن آنها که ممکن است نشانهٔ بروز خطا در محاسبات باشد، بررسی و مرتفع گردد. بعد از اینکه از درست بودن نتایج اطمینان حاصل شد، بمنظور بررسی سایر شرایط بهره‌برداری و سایر سناریوهای بهره‌برداری از شبکه، می‌توان برنامه را برای تحلیل سایر شرایط بهره‌برداری و توپولوژی‌های مختلف شبکه به کار گرفت.

در صورت اطمینان از صحت نتایج، نتایج به دست‌آمده با مقادیر مجاز که در دستورالعمل اتصال مولدهای تولید پراکنده ذکر شده است، مقایسه می‌شوند. اگر نتایج درحدود مجاز قرار داشته باشد نصب منبع تولید پراکنده از لحاظ مطالعات پخش بار بلامانع است. اما اگر نتایج خارج از حدود مجاز باشند نصب منبع تولید پراکنده مجاز نمی‌باشد.

در صورتی که نتایج از حدود مجاز تجاوز کند. نتایج خارج از محدوده بررسی می‌شوند و اقدامات لازم از قبیل تعویض تجهیزات، تغییر طرح اتصال، تغییر ظرفیت منبع تولید پراکنده و غیره جهت بر طرف شدن مشکل پیشنهاد می‌گردد.

شایان ذکر است تصمیم‌گیری در مورد تغییرات لازم با هماهنگی مالک منبع تولید پراکنده و شرکت برق مربوطه انجام می‌شود.

فصل چهارم

مطالعات اتصال کوتاه

۴-۱- مقدمه

در کنار مزایایی که اتصال منابع تولید پراکنده به سیستم به همراه دارد، این منابع ممکن است که تأثیرات بالقوه‌ای نیز بر بهره‌برداری، حفاظت و کنترل سیستم‌های توزیع و انتقال داشته باشند. احداث این ژنراتورها، توزیع مجدد بار را به همراه خواهد داشت و همچنین در مواردی باعث افزایش جریان خطا و مشکلات اضافه ولتاژ خواهد شد.

بنابراین، یک الزام اساسی که اتصال آنها را به شبکه مجاز می‌کند برقراری هماهنگی مناسب بین طرح‌های حفاظتی ژنراتورهای مستقل تولید پراکنده و شرکت‌های برق می‌باشد. در یک سیستم حفاظتی کارآمد و هماهنگ، خطا در کمترین زمان ممکن برطرف می‌شود و کمترین بخش از سیستم به دلیل وقوع خطا از سیستم جدا می‌شود.

احداث DG در شبکه می‌تواند باعث به وجود آمدن مشکلات متعددی در زمینهٔ عملکرد نادرست سیستم حفاظتی شود. ناسازگاری بین DG و سیستم حفاظتی عموماً مربوط به مسایل زیر می‌باشد:

۱- افزایش در جریان‌های اتصال‌کوتاه

۲- کارایی وصل مجدد خط بعد از بروز خطا

۳- هماهنگی سیستم حفاظتی

با توجه به مطالب فوق، انجام مطالعات اتصال‌کوتاه در شبکهٔ توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با توجه به آثار این منابع در شبکه، بیش از پیش الزامی می‌باشد. در گزارش اتصال کوتاه هدف اصلی تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات اتصال‌کوتاه جهت اتصال DG به شبکهٔ توزیع می‌باشد. بنابراین، ابتدا توضیحاتی در مورد نحوهٔ انجام محاسبات اتصال‌کوتاه در سیستم قدرت ارائه می‌گردد و در بخش‌های بعدی راجع به چگونگی انجام این محاسبات در شبکه‌های توزیع با حضور منابع تولید پراکنده اشاره می‌گردد.

اتصال‌کوتاه در یک شبکه آثار سوء بسیار زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- عبور جریان نسبتاً زیاد از عناصر مختلف شبکه (خط، ترانسفورماتور، کلید و ...) و تولید گرمای زیاد و در نتیجه وارد آمدن خسارت به تجهیزات و همچنین ایجاد نیروی الکترومغناطیسی و احتمالاً خسارت مکانیکی در صورت عدم طراحی صحیح

- افت بیش از حد ولتاژ شینه‌ها و عدم امکان توان‌رسانی به مصرف‌کنندگان واحیاناً آسیب دیدن آنها

- امکان از دست‌رفتن پایداری ژنراتورها و سیستم قدرت، به علت این که به واسطهٔ افت ولتاژ، ژنراتورها قادر به انتقال توان اکتیو تولیدی در درون خود نبوده و لذا انباشتگی توان و انرژی در ژنراتورها باعث

افزایش انرژی جنبشی آنها و در صورت عدم کنترل موجب ناپایداری و از دست رفتن سنکرونیزم آنها با شبکه گردد.

با توجه به آثار سوء اتصال‌کوتاه که به بعضی از آنها در بالا اشاره گردید و ضرورت حفاظت سیستم قدرت در مقابل این جریان‌ها و به منظور طراحی صحیح سیستم حفاظتی لازم است که محاسبات و مطالعات اتصال‌کوتاه در یک شبکه به طور دقیق انجام شود.

در این راهنما برای حفظ جنبه کاربردی راهنمای ارائه شده نحوه انجام مطالعات در نرم‌افزار Digsilent توضیح داده شده است.

۴-۲- هدف

هدف از محاسبات اتصال‌کوتاه تعیین موارد زیر می‌باشد:

۱- تأثیر حرارتی جریان‌های خطا بر روی اجزاء شبکه

۲- فشارهای مکانیکی بر روی اجزاء شبکه

۳- هماهنگی تجهیزات حفاظتی

۴- تعیین قدرت قطع مناسب برای کلیدهای قدرت

۵- چگونگی تأثیرگذاری وقوع اتصال‌کوتاه بر پایداری گذرای ژنراتورها

۴-۳- انجام محاسبات اتصال کوتاه به وسیله نرم‌افزار

استفاده از یک نرم‌افزار جهت حل یک شبکهٔ توزیع شامل مراحل زیر می‌باشد:

۴-۳-۱- جمع آوری اطلاعات :

اولین مرحله برای انجام بررسی و مطالعات اتصال‌کوتاه بر روی یک شبکه، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای انجام مطالعات می‌باشد. به طور کلی، اطلاعات مورد نیاز جهت انجام مطالعات اتصال‌کوتاه و شبیه‌سازی شبکه به صورت زیر می‌باشد:

- مشخصات فنی تجهیزات، ترانسفورماتورها، خطوط شبکه و ...
- مشخصات تجهیزات قطع‌کننده و قدرت قطع آنها و سطح اتصال‌کوتاه شبکه
- فاصله نصب منبع تولید پراکنده از پست با استفاده از اطلاعات GIS
- مقدار تپ ترانسفوماتورها

- اطلاعات مربوط به ظرفیت و مشخصات فنی منبع تولید پراکنده و تجهیزات کنترل و حفاظت آن

...

نحوه جمع‌آوری این اطلاعات در بخش ۲-۳ آمده است.

ایـــن گام معمولاً زمان‌بـــرترین گام استفاده از یـک نـــــرم‌افزار می‌باشد. این اطلاعات به عنوان ورودی به نرم‌افزار انجام مطالعات وارد می‌گردد.

۴-۳-۲- مدل‌سازی

در این مرحله از اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله قبل برای بدست آوردن مدل مطلوب شبکه و تجهیزات استفاده می‌نماییم. در اکثر نرم‌افزارهای مهندسی که در حال حاضر به‌منظور انجام مطالعات و تحلیل شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند، کاربر می‌تواند طرح تجهیزات و شبکه را به صورت شماتیک در نرم‌افزار رسم کند و بدین ترتیب یک مدل از شبکه را به صورت دیاگرام در اختیار داشته باشد.

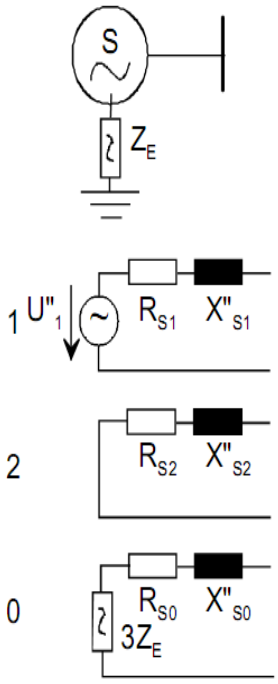
در صورتی که امکان انجام مانور در فیدر محل اتصال منبع تولید پراکنده وجود دارد، مطالعات اتصال‌کوتاه باید به ازای تمامی مانورهای ممکن انجام شود.

- نحوه مدلسازی اجزای مختلف شبکه :

در این قسمت به صورت گام به گام نحوه مدلسازی تجهیزات برای اتصال کوتاه را توضیح خواهیم داد. تجهیزات را به ماشین، ترانسفورماتور، خط، شین بی نهایت که در ادامه به صورت جزئی توضیح داده می شود.

الف) ژنراتور سنکرون:

ژنراتور سنکرون برای محاسبات اتصال کوتاه باید به صورت منبع ولتاژ در سه مولفه مثبت و منفی و صفر به شکل زیر مدلسازی گردد:



Parameters and calculations:

$$\underline{Z}_S = R_S + jX''_d \qquad \text{(Eq. 2.17)}$$

Additional data:

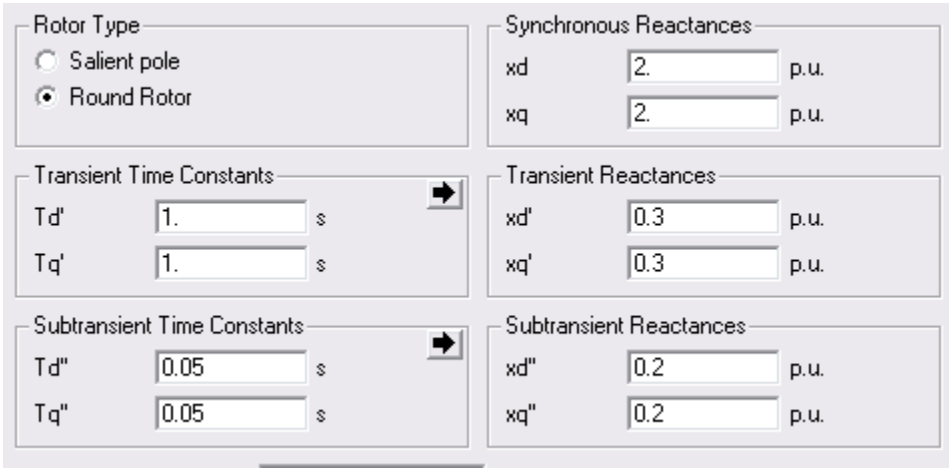
$$\underline{Z}_{S2} = R_S + jX''_2 = R_S + jX_2 \qquad \text{(Eq. 2.18)}$$

Normally it is assumed that $X_2 = x''_d$. If x''_d and x_q'' differ significantly in magnitude, the following can be used:

$$X''_2 = X_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(x''_d + x''_q \right) \qquad \text{(Eq. 2.19)}$$

شکل (۴-۱) : ژنراتور سنکرون برای محاسبات اتصال کوتاه

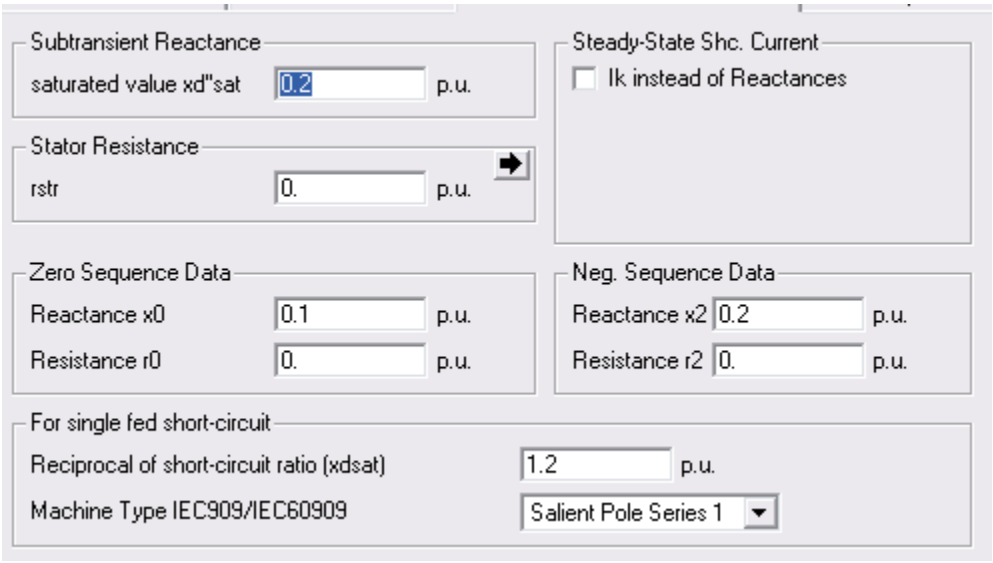
برای مثال در نرم افزار DIgSILENT داده های اتصال کوتاه ژنراتور به شکل زیر مدل می شود :



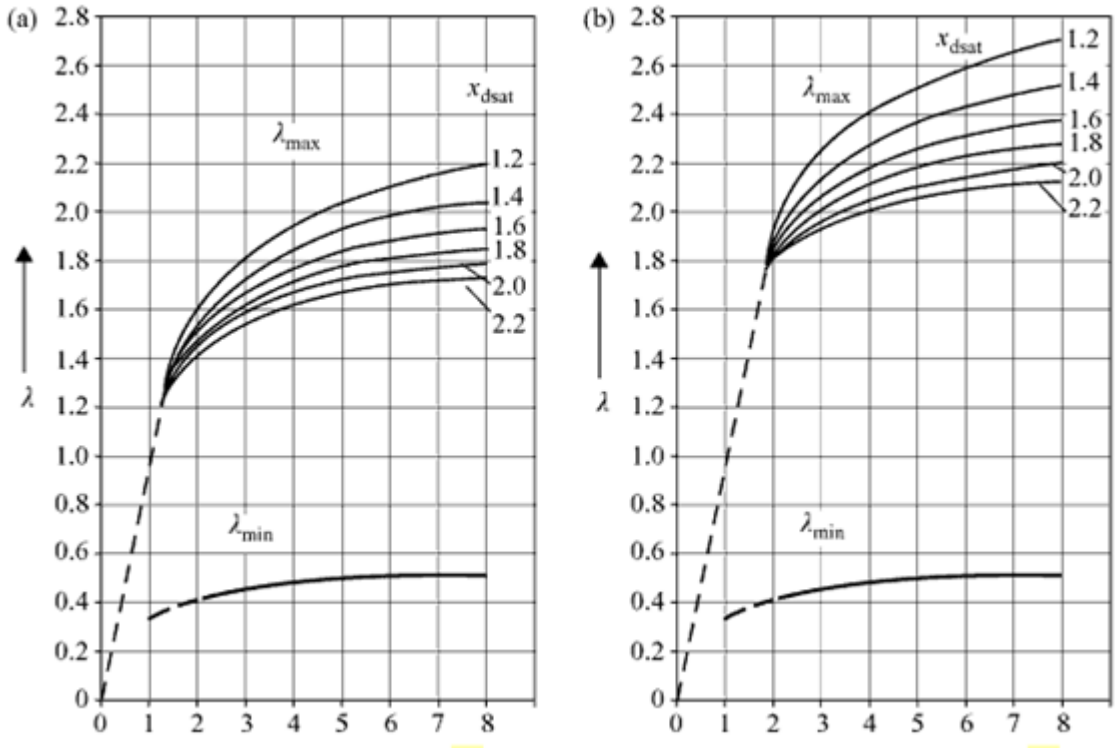
شکل (۴-۲) : داده‌های اتصال کوتاه برای ژنراتور سنکرون

همان طور که در شکل ۴-۲ دیده می شود مشاور باید طبق data sheet ژنراتور خریداری شده باید تمامی داده های شکل بالا را پر کند.

البته با توجه به روش انتخابی اتصال کوتاه نظیر IEC۶۰۹۰۹ اطلاعات در خواستی تغییر می کند. همان طور که در شکل ۴-۳ زیر نمایش داده شده است در روش ۶۰۹۰۹ Xdsat و نوع ماشین جهت محاسبه جریان حالت پایدار (**Steady State**(**IK**)) طبق نمودار شکل ۴-۴ مورد نیاز می باشد.



شکل (۴-۳) : برگه داده های اطلاعات اتصال کوتاه طبق IEC۶۰۹۰۹



جریان اتصال کوتاه سه فاز

جریان اتصال کوتاه سه فاز

شکل (۴-۴) : تعیین جریان حالت پایدار طبق Xdsat و نوع ماشین

ب) ترانسفورماتور :

مدل‌سازی ترانسفورماتور برای مطالعات اتصال کوتاه شبیه به مطالعات پخش بار است.

ج) کابل

مدل‌سازی کابل برای مطالعات اتصال کوتاه شبیه به مطالعات پخش بار است.

د) بریکرها و سکسیونرها :

در مورد کلیدها و سکسیونرها در مطالعات اتصال کوتاه فقط باید به این نکته توجه شود که کلید مورد نظر قابلیت تحمل جریان اتصال کوتاه پیک را داشته باشد و بتواند جریان اتصال کوتاه برکینگ را قطع نماید. بنابراین نیازی به وارد کردن داده های فنی این تجهیزات در نرم افزار نمی باشد، فقط کاربر باید از نوع سکسیونر بودن یا بریکر بودن کلیدها مطلع بوده و میزان جریان قابل قطع کلید را بداند و نیازی به وارد کردن این اطلاعات در نرم افزار نمی باشد.

در نهایت با مدل کردن تمام تجهیزات با توجه به مشخصات فنی آنها باید با قرار دادن خطاها (متقارن- نامتقارن) بر روی نقاط حساس و بحرانی شبکه مانند:

- پست تولید پراکنده(یعنی برای انتخاب کلیدهای داخل تولید پراکنده چه در حالت تک مولد و چه در حالت چند مولدی)
- پست فوق توزیع بالا دست
- DG های موجود بر روی فیدر مجاور
- مانورهای موجود بین فیدر نصب DG و سایر فیدرها

محاسبات اتصال کوتاه را انجام دهد.

۴-۳-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه

بعد از مدلسازی شبکه، کاربر باید اطلاعات مربوط به هر یک از تجهیزات شبکه را که در مدلسازی ترسیم نموده است بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در قسمت اول در نرم‌افزار تنظیم نماید. بدین منظور، برای هر یک از اجزای شبکه که در مدلسازی آورده شده‌اند در نرم‌افزار جداول مخصوصی برای ورود اطلاعات

طراحی شده است که کاربر بایستی با توجه به نوع اطلاعات درخواستی توسط نرم‌افزار برای هر تجهیز، اطلاعات را در نرم‌افزار تنظیم نماید.

در صورت حضور چند مولد پراکنده در محدوده مورد مطالعه بسته به طرح اتصال مربوطه مولدهای موجود در برخی از مطالعات باید در نظر گرفته شوند در این بخش این مسئله را مورد بررسی قرار می‌دهیم :

- طرح ۱

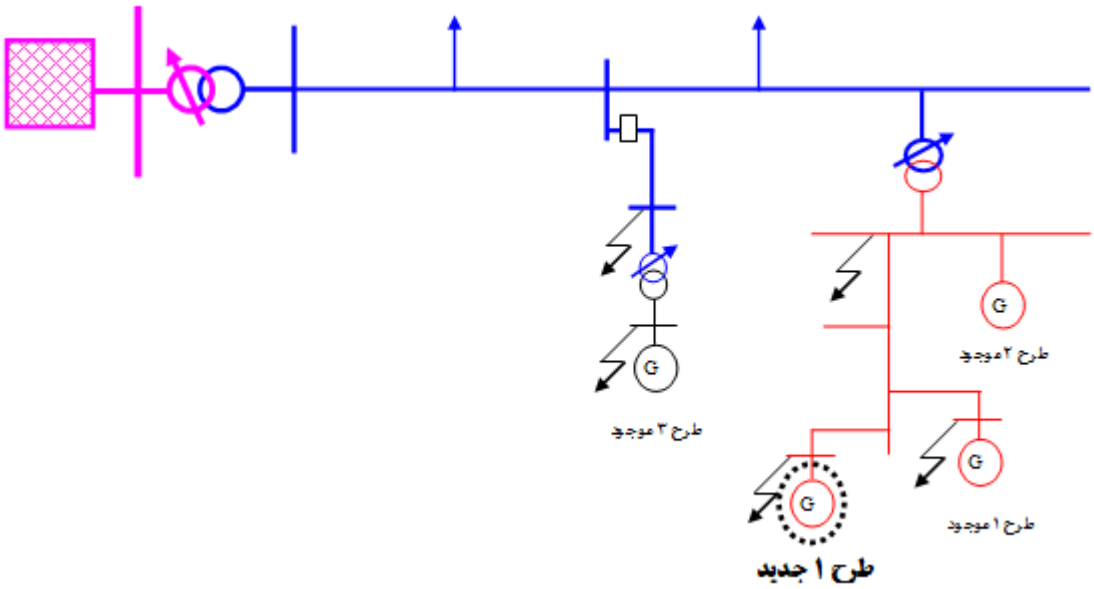
درحالتی‌که مولد جدیدی با طرح ۱، قصد اتصال به شبکه‌ای شامل یک یا چند مولد پراکنده را داشته باشد، در صورتی‌که در شبکه مورد نظر منبع تولید پراکنده‌ای با

طرح ۱ روی همان فیدر فشار ضعیف

طرح ۲ روی همان شینه فشار ضعیف

طرح ۳ روی همان فیدر فشار متوسط

وجود داشته باشد، لازم است در انجام مطالعات اتصال کوتاه در نظر گرفته شوند.



شکل (۴-۵) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۱ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند

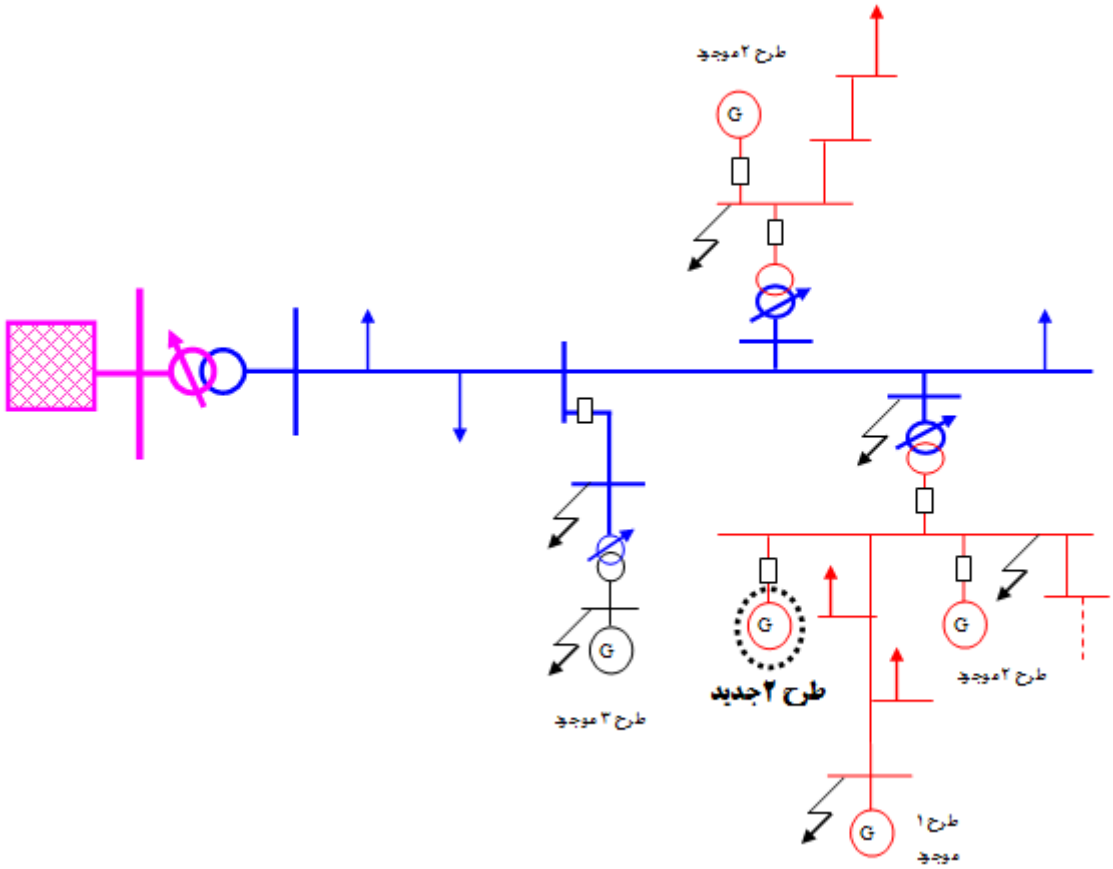
- طرح ۲

در حالتی‌که مولد جدیدی با طرح ۲، قصد اتصال به شبکه‌ای شامل یک یا چند مولد پراکنده را داشته باشد، در صورتی‌که در شبکه مورد نظر منبع تولید پراکنده‌ای با

طرح ۲ و ۳ روی همان فیدر فشار متوسط

طرح ۱ و ۲ روی همان شینه فشار ضعیف

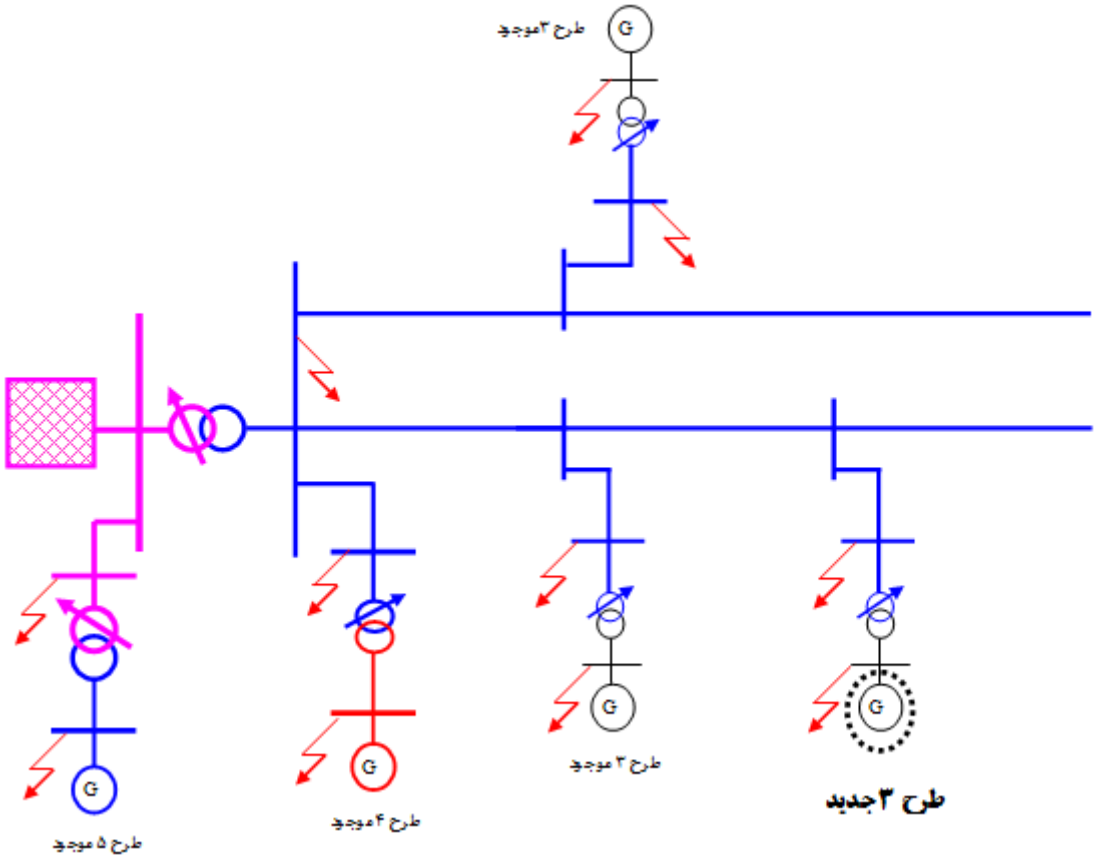
وجود داشته باشد، لازم است در انجام مطالعات اتصال کوتاه در نظر گرفته شوند.



شکل (۴-۶) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۲ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند

- طرح ۳

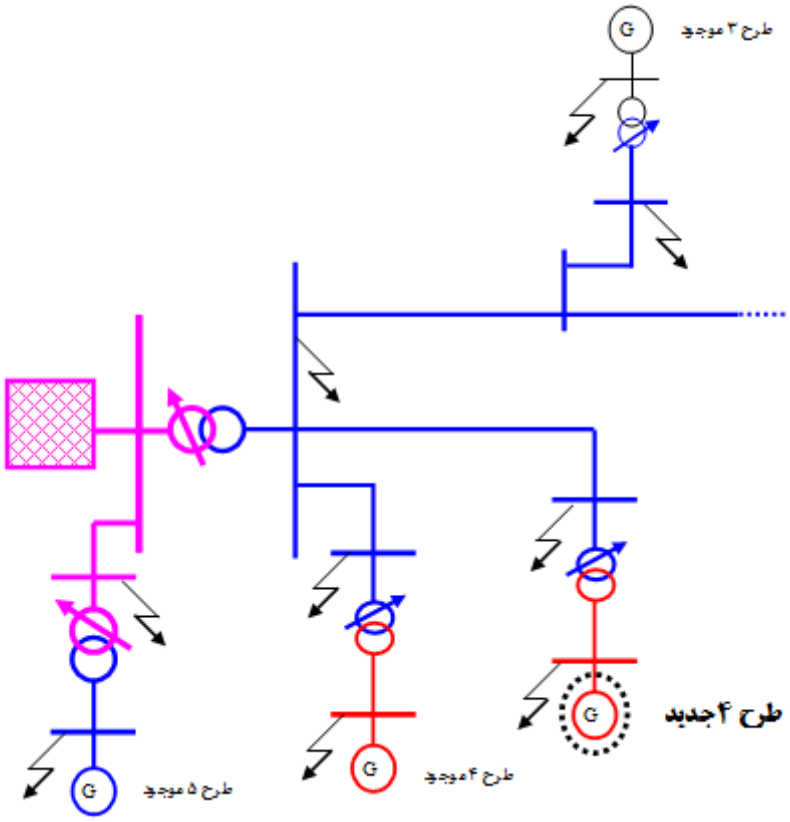
در حالتی‌که مولد جدیدی با طرح ۳، قصد اتصال به شبکه‌ای شامل یک یا چند مولد پراکنده را داشته باشد، در صورتی‌که در شبکه مورد نظر منبع تولید پراکنده‌ای با طرح ۳ روی همان فیدر و یا فیدر مجاور طرح ۴ روی فیدر اختصاصی فشار متوسط و طرح ۵ روی شینه فشار قوی پست فوق توزیع وجود داشته باشد، لازم است در انجام مطالعات اتصال کوتاه در نظر گرفته شوند.



شکل (۴-۷) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۳ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند

- طرح ۴

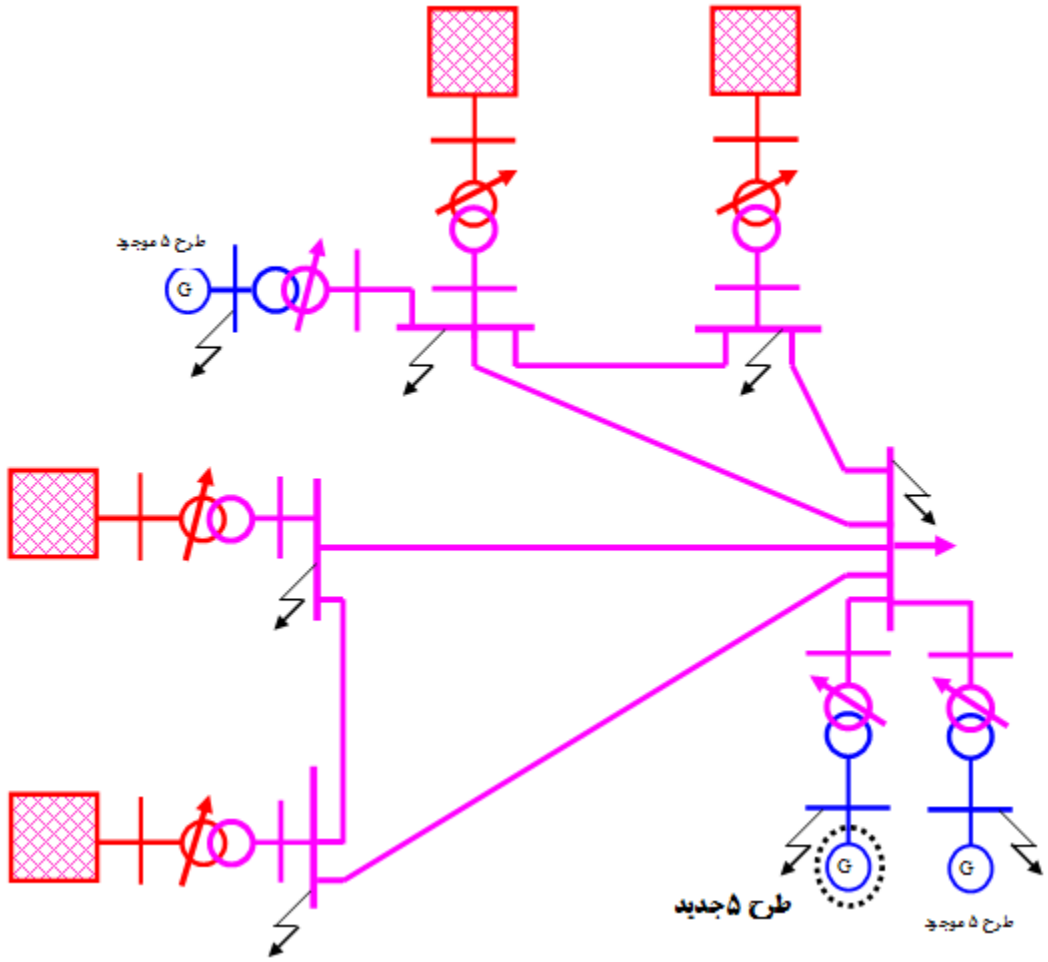
در حالتی‌که مولد جدیدی با طرح ۴، قصد اتصال به شبکه‌ای شامل یک یا چند مولد پراکنده را داشته باشد، در صورتی‌که در شبکه مورد نظر منبع تولید پراکنده‌ای با طرح ۳ و ۴ وجود داشته باشد، لازم است در انجام مطالعات اتصال کوتاه در نظر گرفته شود. در مورد طرح ۵ موجود، اگر در محاسبات سطح اتصال کوتاه پست مورد نظر مولد طرح ۵ لحاظ شده باشد نیازی به در نظر گرفتن این مولد نیست در غیر این‌صورت باید در نظر گرفته شود.



شکل (۴-۸) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۴ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند

- طرح ۵

در حالتی‌که مولد جدیدی با طرح ۵، قصد اتصال به شبکه‌ای شامل یک یا چند مولد پراکنده را داشته باشد، برای تمام پست‌هایی که با خط انتقال هوایی یا زمینی به پست مذکور متصل شده‌اند اطلاعات اتصال کوتاه از سمت فشارقوی باید موجود باشد. به دلیل امپدانس بالای ژنراتورهای کوچک و ترانسفورماتورها و خطوط انتقال مربوطه مولدهای موجود دیگر تاثیر قابل توجهی در جریان اتصال کوتاه DG طرح ۵ ندارند و فقط مولد طرح ۵ موجود روی همان شینه و یا در پست دیگر در نظر گرفته می‌شود.



شکل (۴-۹) : مکان‌های خطا و مولدهایی که در صورت ورود مولد طرح ۵ باید در مطالعات اتصال کوتاه بررسی شوند

۴-۳-۴- اجرای برنامه

بعد از مدلسازی شبکه و انجام تنظیمات مناسب در نرم‌افزار، بمنظور تحلیل شبکه برنامه اجرا می‌شود. در این مرحله چنانچه شبکه به درستی مدلسازی شده باشد و اطلاعات مربوط به تجهیزات و شبکه کامل و بی‌نقص در نرم‌افزار وارد شده باشند، نرم‌افزار، شبکه مدلسازی شده را تحلیل کرده و نتایج مورد درخواست کاربر را ارئه می‌نماید. در صورت بروز مشکل در حین اجرای برنامه، نرم‌افزار پیغام خطا می‌دهد که کاربر باید بعد از بررسی و رفع خطا، برنامه را دوباره اجرا نماید.

در انجام مطالعات اتصال‌کوتاه موارد زیر باید در نظر گرفته شود :

- ✓ سناریوهای مختلف بهره‌برداری
- ✓ حضور و عدم حضور مولدهای پراکنده در شبکه

- ✓ انواع مختلف خطا
- ✓ بروز خطای تک‌فاز
- ✓ بروز خطای سه‌فاز
- ✓ نقاط مختلف بروز خطا در شبکه (خطای تک‌فاز و سه‌فاز)
- ✓ بروز خطا در شبکه پایین‌دست مولد مقیاس کوچک
- ✓ بروز خطا در شبکه بالادست مولد مقیاس کوچک
- ✓ بروز خطا در در داخل نیروگاه تولید پراکنده
- ✓ بروز خطا در فیدرهای مجاور

۴-۳-۵- تحلیل نتایج

بعد از اجرای کامل برنامه، نتایج مطالعات در اختیار کاربر قرار می‌گیرد که بایستی مورد تحلیل قرار گیرند. نتایج دور از انتظار باید به دقت بررسی شده و دلیل غیر منطقی بودن آنها که ممکن است نشانهٔ بروز خطا در محاسبات باشد، بررسی و مرتفع گردد. بعد از اینکه از درست بودن نتایج اطمینان حاصل شد، بمنظور بررسی سایر شرایط بهره‌برداری و سایر سناریوهای اتصال‌کوتاه در شبکه، می‌توان برنامه را برای تحلیل سایر شرایط بهره‌برداری و توپولوژی‌های مختلف شبکه بکار گرفت.

در صورت اطمینان از صحت نتایج، نتایج به دست‌آمده با مقادیر مجاز که در دستورالعمل اتصال مولدهای تولید پراکنده ذکر شده است، مقایسه می‌شوند. اگر نتایج درحدود مجاز قرار داشته باشد نصب منبع تولید پراکنده از لحاظ مطالعات اتصال کوتاه بلامانع است. اما اگر نتایج خارج از حدود مجاز باشند نصب منبع تولید پراکنده مجاز نمی‌باشد.

ذکر این نکته ضروریست که جریان اتصال کوتاه عبوری از کلیدهای قدرت می‌تواند حداکثر ۸۰ درصد جریان قابل قطع کلید (با توجه به قدرت قطع آن) باشد.

در صورتی که نتایج از حدود مجاز تجاوز کند. نتایج خارج از محدوده بررسی می‌شوند و اقدامات لازم از قبیل تعویض تجهیزات، تغییر طرح اتصال، تغییر ظرفیت منبع تولید پراکنده و غیره جهت بر طرف شدن مشکل پیشنهاد می‌گردد.

شایان ذکر است تصمیم‌گیری در مورد تغییرات لازم با هماهنگی مالک منبع تولید پراکنده و شرکت برق مربوطه انجام می‌شود.

فصل پنجم

مطالعات پایداری گذرا

۵-۱- مقدمه

در دو دهه اخیر تکامل تکنولوژی، تغییر نگرش اقتصادی در صنعت برق و نیز ملاحظات زیست محیطی، موجبات رویکرد مجدد به تولید پراکنده را فراهم نموده است. امروزه نیروگاه‌های تولید پراکنده به نیروگاه‌هایی با ظرفیت تولیدی کم، معمولاً از چند کیلووات تا چند مگاوات (در یک تعریف از ۵۰ کیلووات تا ۱۰۰ مگاوات و در تعریف دیگر از چند کیلووات تا پنجاه مگاوات) که برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز در نزدیکی مصرف‌کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اطلاق می‌شود. این نیروگاه‌ها شامل نیروگاه‌های بادی، خورشیدی، پیل سوختی، موتورهای رفت و برگشتی، توربین‌های صنعتی، میکروتوربین‌ها و ... می‌باشند. عوامل بسیاری را می‌توان برای رویکرد مجدد صنعت برق به تولید پراکنده نام برد. (۲۰۰۲) *IEA*، پنج عامل اساسی را در رابطه با رویکرد مجدد به تولید پراکنده بر می‌شمرد؛ که عبارتند از: پیشرفت تکنولوژی‌های تولید پراکنده، محدودیت در ساختن خطوط انتقال نیروی جدید، افزایش تقاضای مصرف و نیاز به تولید برق با قابلیت اطمینان بالا، آزادسازی (تجدید ساختار) صنعت برق و نگرانی‌های زیست محیطی. برخی نیز بر این اعتقادند که پنج عامل فوق را می‌توان در دو فاکتور مهم و اساسی تجدید ساختار برق و مسائل زیست محیطی خلاصه نمود.

تعاریف گوناگونی از منابع تولید پراکنده ارائه شده است ولی عموماً منظور از تولید پراکنده، استفاده از توربین‌های بادی، توربین‌های آبی، واحدهای توربین گازی کوچک، پیلهای سوختی و... می‌باشد که تـــــوان خـروجی آنها از چندین کیلووات تا چندین مگـاوات متغیر بوده و به صورت پـراکنده در شبکهٔ توزیع برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف‌کنندگان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع منافع الکتریکی زیادی به همراه دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- پشتیبانی اضطراری در هنگام بروز خاموشی‌های تحمیل شده به شبکه

۲- جبران افت ولتاژ

۳- افزایش قابلیت اطمینان شبکه

۴- کاهش تلفات الکتریکی

۵- بهبود ضریب قدرت فیدرها با آزادسازی ظرفیت سرویس‌دهی

۶- تغذیهٔ بارهای محلی در مدت جزیره‌ای شدن شبکه در صورت عملکرد جزیره‌ای

۷- ارزشمند نمودن ذخایر انرژی به واسطهٔ کاهش پیک بار در زمان‌های اوج مصرف

در کنار مزایایی که اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع به همراه دارند، این منابع دارای تأثیرات بالقوه‌ای نیز بر بهره‌برداری و پایداری سیستم‌های توزیع و انتقال می‌باشند. اتصال این ژنراتورها به شبکه، توزیع مجدد بار را به همراه خواهد داشت که می‌تواند باعث ایجاد مسائل و مشکلات دینامیکی و پایداری در شبکه‌های توزیع گردد.

همانگونه که در گزارش **"تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات دینامیک و حالات گذرا جهت اتصال *DG* به شبکهٔ توزیع"** توضیح داده شده است، در حالتی که شبیه‌سازی و مطالعه پایداری چند ژنراتور واقع در یک فیدر واحد لازم باشد در اینصورت استفاده از روش شبیه‌سازی حوزه زمان به کمک نرم‌افزار ضروری می‌گردد. **در این راهنما برای حفظ جنبه کاربردی راهنمای ارائه شده نحوه انجام مطالعات در نرم‌افزار DIgSILENT توضیح داده شده است.**

۵-۲- هدف

نتایج این مطالعات برای تصمیم‌گیری در موارد زیر اهمیت دارد :

۱- میزان توانایی تحمل اغتشاشات توسط DG

۲- میزان تأثیرگذاری DG بر پایداری دینامیکی و گذرای شبکه

۳- عملکرد DG در حالت جزیره‌ای شدن (خواسته یا ناخواسته)

۴- کفایت سیستم حفاظتی

۵- پدیده‌های کیفیت توان

در واقع یکی از اهداف مهم مطالعات پایداری گذرا تنظیم رله‌ها و سیستم‌های حفاظتی داخل پست تولید پراکنده است که خود می‌تواند شامل یک یا چند ژنراتور باشد. تنظیم رله روکوف در حالتی که DGاز شبکه بالادست قطع شده و تنها بار محلی خود را تامین می‌کند نیز با استفاده از نتایج به دست آمده از این مطالعات صورت می‌گیرد.

هم‌چنین زمان بحرانی رفع خطا که تنظیم حداقل زمان رله‌های اضافه جریان موجود در پست تولید پراکنده بر اساس آن می‌باشد با استفاده از مطالعات پایداری گذرا مشخص می‌گردد.

۵-۳- انجام محاسبات پایداری گذرا به وسیله نرم‌افزار

مراحل انجام محاسبات و مطالعات به کمک نرم افزار به شرح زیر می‌باشد.

۵-۳-۱- جمع آوری اطلاعات:

دیاگرام تک خطی شبکه مورد مطالعه به همراه اطلاعات راکتانسی تجهیزات دخیل در محاسبات و همچنین شرایط بارگذاری شبکه شامل بار و تولید مولدها باید تهیه گردد و به عنوان ورودی به نرم‌افزار اعمال شود. پارامترهای ترانسفورماتورها و هادی‌ها باید از داده‌های آماری مربوطه استخراج شده و اطلاعات مربوط به قسمت‌های مختلف شبکه باید از بهره‌بردار مربوطه کسب شود. کلیه پارامترهای راکتانسی مولدها، خطوط، ترانسفورماتورها، بارها باید به یک مبنای پریونیت مناسب تبدیل شوند.

بنابراین در این نوع مطالعه مشاور باید سه طیف داده را تهیه و ارزیابی کند طیف اول داده های پایه پخش بار ژنراتور مانند راکتانس طولی و عرضی حالت پایدارِ ژنراتور و داده های اتصال کوتاه ژنراتور نظیر راکتانسها و ثابتهای زمانی اتصال کوتاه و داده های دینامیکی ژنراتور نظیر ثابت اینرسی و میزان دمپینگ نوسانی روتور و منحنی اشباع و ... می باشد، تمامی داده های طیف اول باید از برگه مشخصات فنی خود ژنراتور استخراج شود که این برگه باید توسط سازنده به صاحب DG تحویل داده شده باشد.

داده های طیف دوم عبارتست از داده های پخش باری شبکه بالا دست و پایین دست که البته بسته به طرح انتخابی اتصال DG متفاوت می باشد. به عنوان مثال در طرح ۳ باید داده های شبکه بالا دست و پایین دست را در محیط *Autocad* یا *GIS* به طور کامل از شرکت توزیع مربوطه دریافت کرد. این اطلاعات شامل سطح مقطع، طول و جنس خطوط و کابلها و بار مشترکین می باشد. در طرح ۴ و ۵ نیازی به اطلاعات شبکه پایین دست نمی باشد و داده های پخش باری پست بالادست مورد نیاز می باشد که این داده ها باید از شرکتهای برق منطقه ای مربوطه دریافت گردند.

داده های طیف سوم داده های دینامیکی و اتصال کوتاه شبکه بالادست و ژنراتورهای مقیاس کوچک فیدرهای مجاور یا DG های منصوبه بر روی پست بالا دست و فیدر مجاور یا خود فیدر مد نظر مشاور می باشد. تمامی داده های دینامیکی مربوط به شبکه بالا دست باید از برق منطقه ای دریافت گردد و داده های مربوط به DG فیدر مجاور یا فیدر مد نظر مشاور عموماً در اختیار شرکتهای توزیع بوده ولی داده های دینامیکی DG های موجود در پست بالادست را باید از برق منطقه ای دریافت کرد.

این گام معمولاً زمان‌برترین گام استفاده از یک نرم‌افزار می‌باشد. این اطلاعات به عنوان ورودی به نرم‌افزار انجام مطالعات وارد می‌گردد.

۵-۳-۲- مدل‌سازی

با توجه به موقعیت شین بی‌نهایت شبکه برای مولدها و مسیر راکتانسی مولدها، دیاگرام تک‌خطی شبکه مورد مطالعه مشخص شده و سپس در محیط نرم‌افزار ترسیم و ساخته می‌شود. فیدرهایی که صرفاً به صورت پاسیو و بدون مولد هستند در نظر گرفته نمی‌شوند و تنها بار آنها در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات عناصری که در دیاگرام تک‌خطی شبکه هستند وارد نرم‌افزار می‌گردد و بدین ترتیب یک شبکه مدلسازی می‌شود.

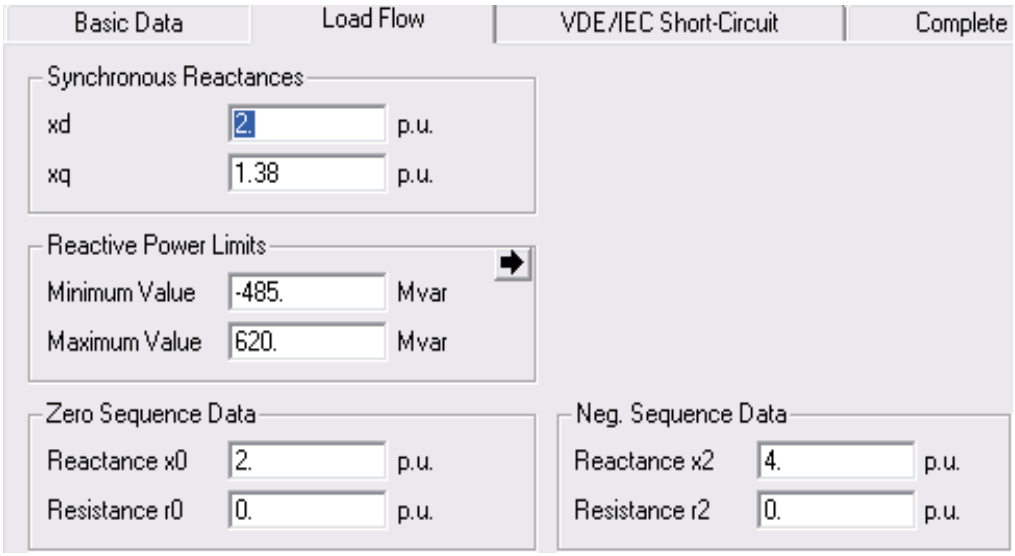
در صورتی که امکان انجام مانور در فیدر محل اتصال مولد مقیاس کوچک وجود دارد، مطالعات پایداری دینامیکی باید به ازای مانورهای مختلف انجام شود.

- نحوه مدلسازی اجزای مختلف شبکه :

در این بخش نحوه مدلسازی تجهیزات مختلف شبکه نظیر ژنراتور و ترانسفورماتور و شبکه بالادست به صورت کامل شرح داده می شود.

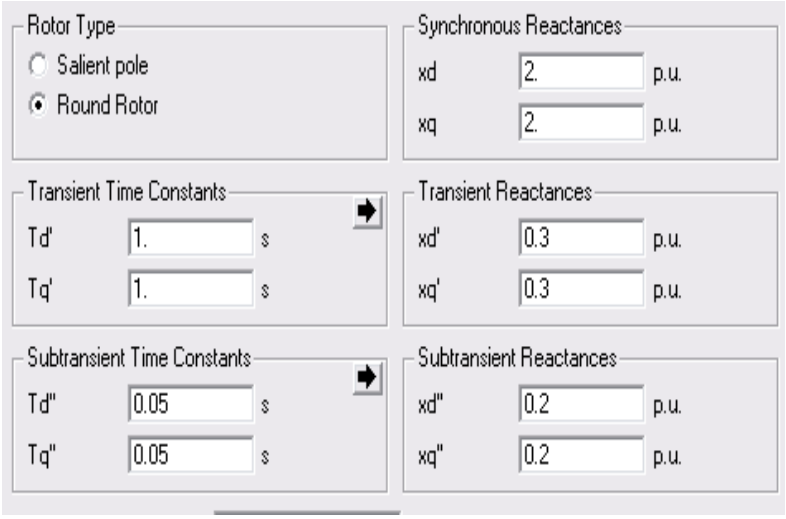
- مدل‌سازی ژنراتور:

در مورد ژنراتور همان طور که در قست جمع آوری اطلاعات گفته شد باید ابتدا داده های پخش باری را وارد کرد.



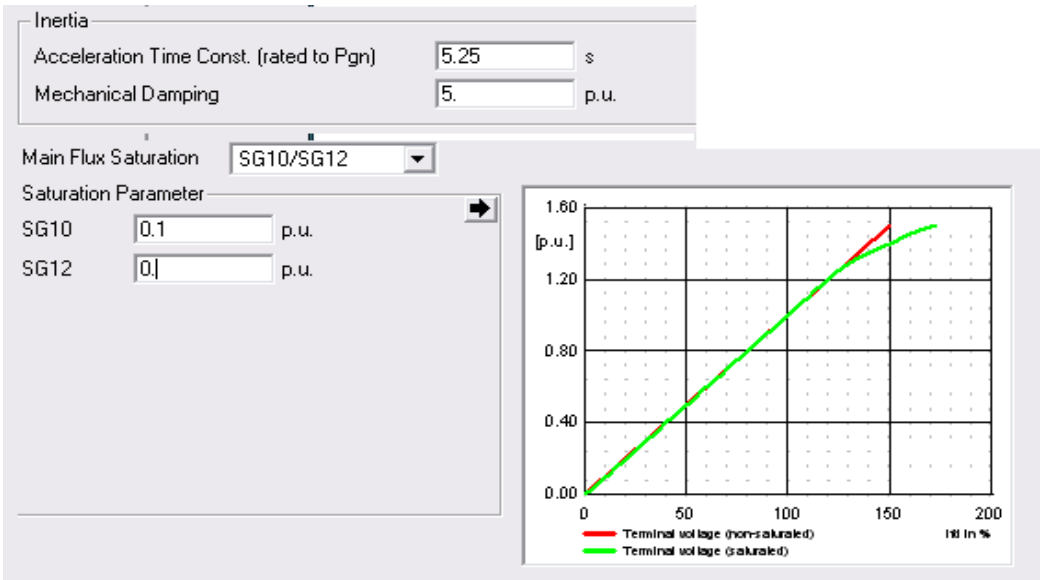
شکل (۵-۱) : داده‌های پایه ژنراتور

بخش دوم داده‌های ژنراتور عبارتند از داده های اتصال کوتاه ژنراتور (همان طور که می دانیم در مطالعات پایداری گذرا باید بر روی یک سری مکانهای بحرانی شبکه خطا رخ داده و تاثیر آن بر زاویه روتور ژنراتور را بررسی نمود، بنابراین داده های اتصال کوتاه نقشی اساسی در این مطالعات دارند) در ادامه نحوه ورود داده‌های اتصال کوتاه ژنراتور در شکل ۵-۲ نمایش داده می شود.



شکل (۵-۲) : داده های اتصال کوتاه ژنراتور

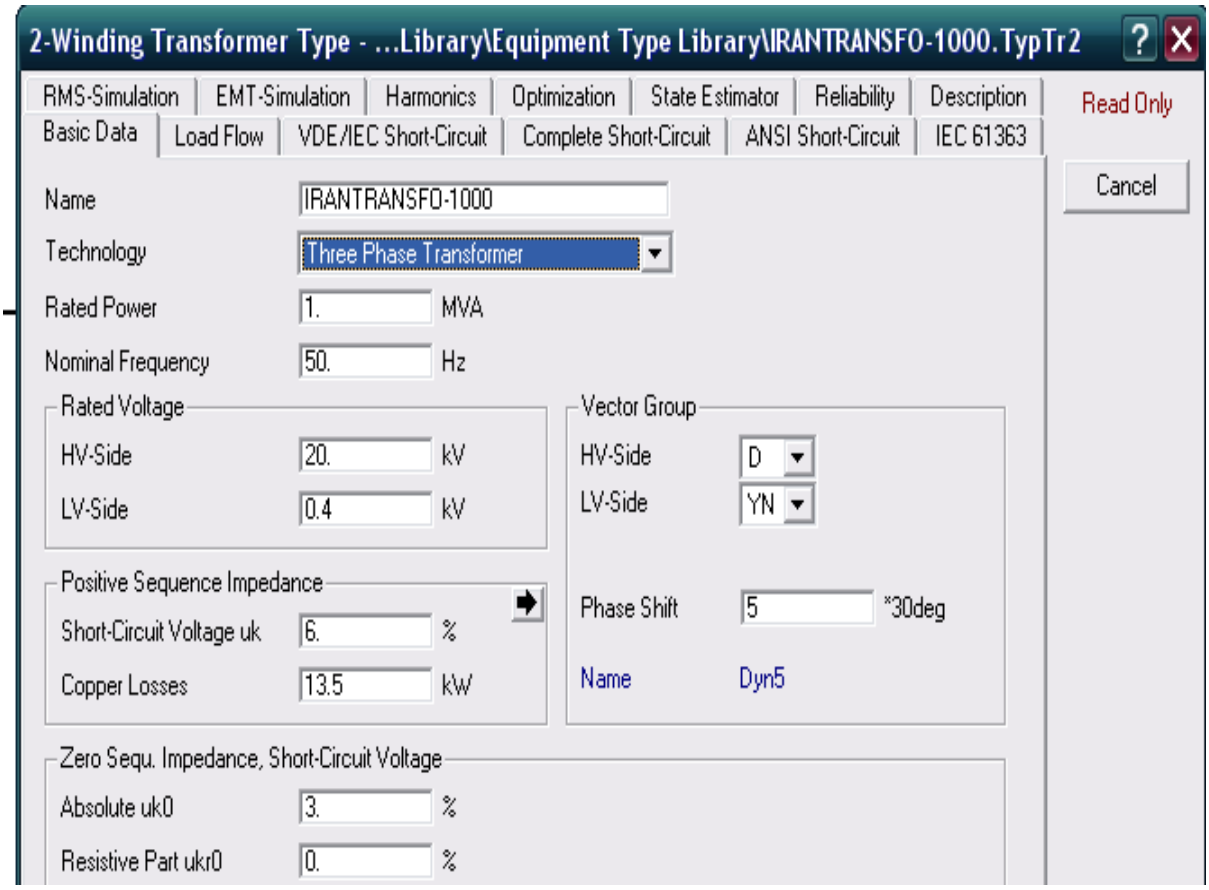
در نهایت باید داده‌های دینامیکی ژنراتور نظیر ثابت اینرسی و منحنی اشباع را مطابق شکل ۵-۳ وارد نرم افزار کرد.



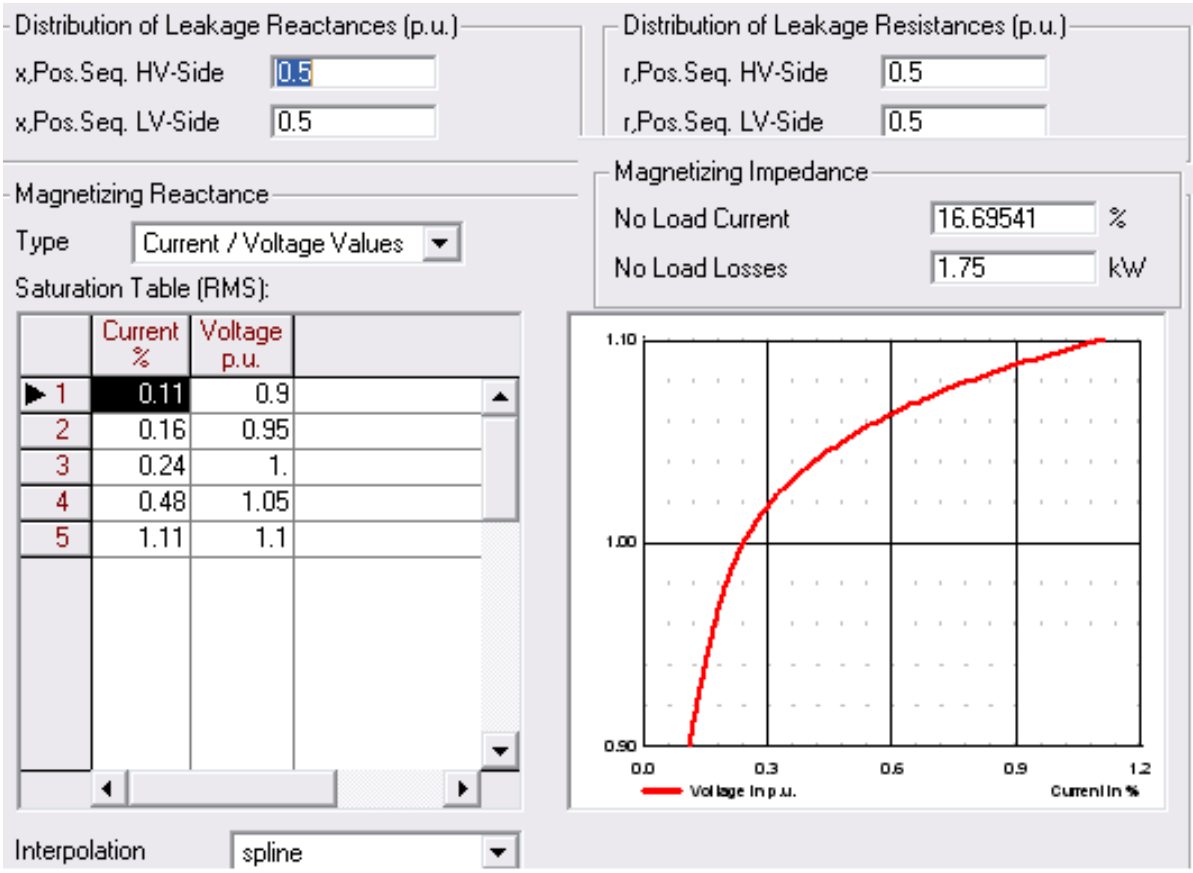
شکل (۵-۳) : داده های دینامیک ژنراتور

به طور کلی تمامی داده های مربوط به پست تولید پراکنده که توسط صاحب **DG** نصب می شود جز داده‌هایی قرار می گیرد چرا که باید به طریقی از خود سازندگان تجهیزات دریافت شود. بنابراین تمامی داده های پخش بار و اتصال کوتاه ترانسفورماتورها و کابلهای داخل پست تولید پراکنده باید طبق برگه مشخصاتی که از سازندگان دریافت می گردد همانند شکل‌های ۵-۴ و ۵-۵ در نرم افزار وارد شوند.

برای مثال Uk% و مقدار تلفات سیم پیچی و گروه برداری ترانسفورماتور KVA ۱۰۰۰ ایران-ترانسفو طبق شکل زیر وارد نرم افزار DIgSILENT شده است.



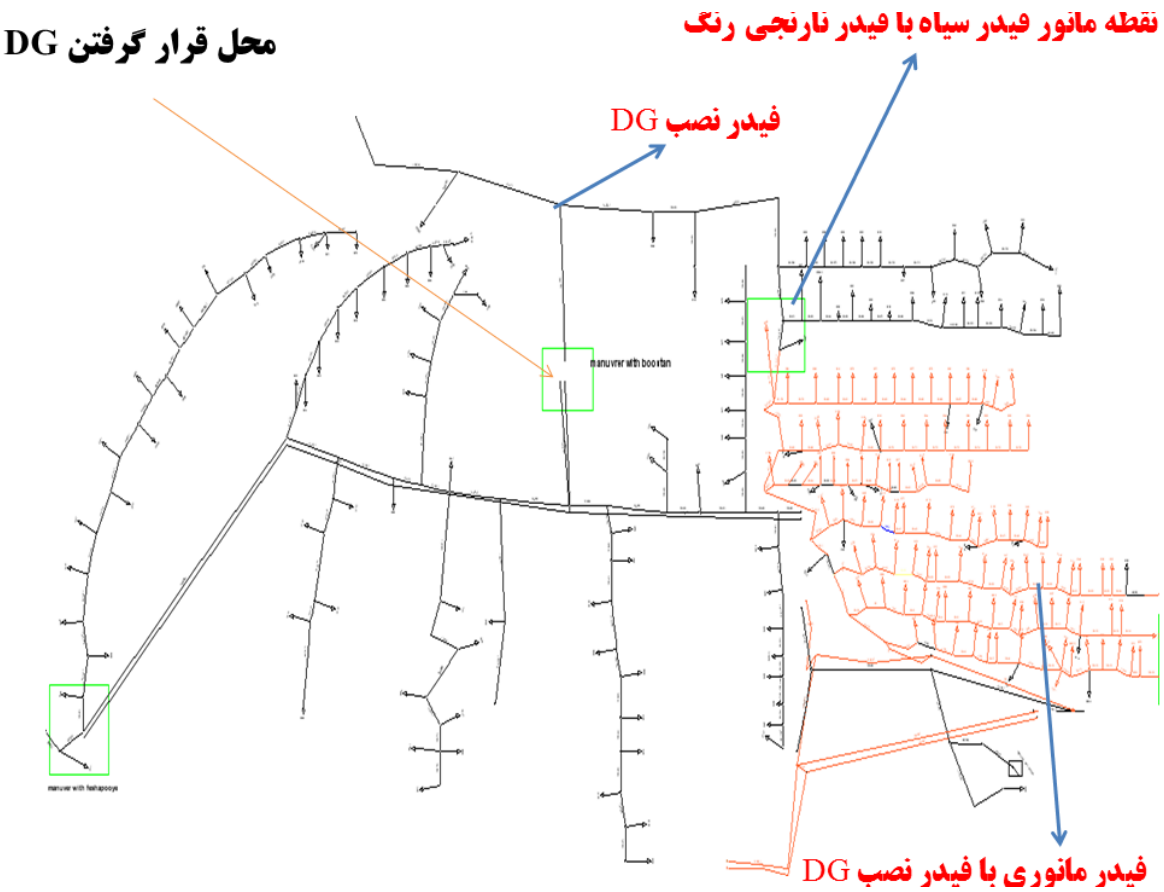
شکل (۵-۴) : اطلاعات پایه ترانسفورماتور



شکل (۵-۵) : منحنی اشباع و راکتانس پراکندگی ترانسفورماتور

اطلاعات پخش بار و اتصال کوتاه کابل‌ها و خطوط داخل پست تولید پراکنده بر اساس برگه مشخصات سازندگان عیناً مثل فصل اتصال کوتاه تکرار می شوند.

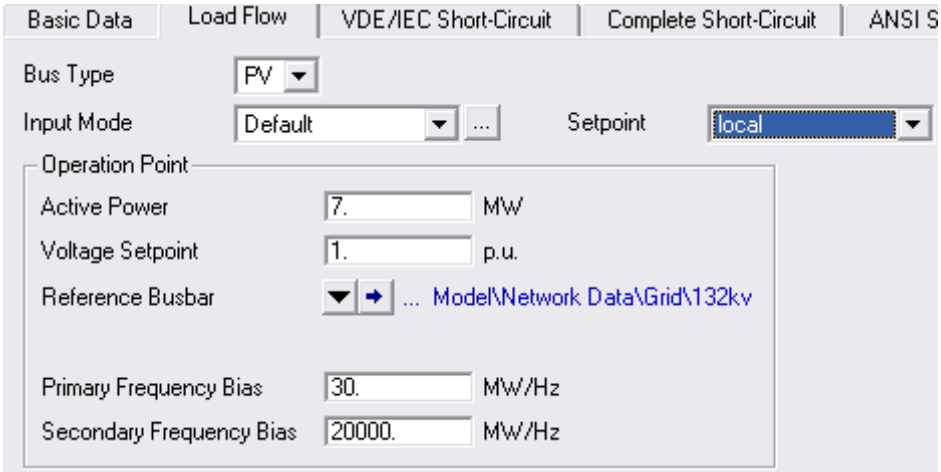
داده‌های بخش بعد، داده‌های پخش بار شبکه بالادست و پایین‌دست است که بر اساس طرح اتصال DG متفاوت می باشند. برای مثال در طرح ۳ باید فیدر نصب DG و فیدرهای قابل مانور با آن همگی در نرم‌افزار مدلسازی گردند.



شکل (۵-۶) : شبیه سازی فیدر نصب DG و فیدر مانوری با آن

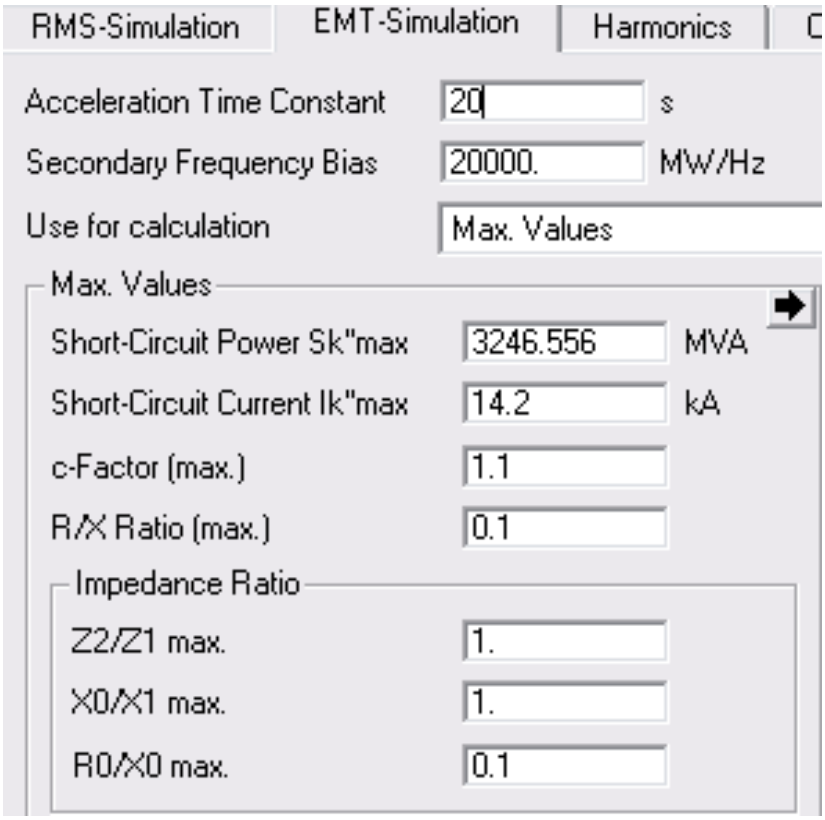
داده های خطوط و بارهای فیدر نصب DG و فیدر مانوری همانند فصل اتصال کوتاه باید در نرم افزار وارد شوند.

اما در طرح ۴ و ۵ باید داده های پخش بار شبکه بالادست همانند شکل ۵-۷ وارد نرم افزار گردند.



شکل (۵-۷) : داده های پخش باری شبکه بالا دست DG

داده‌های بخش بعد مربوط به داده های دینامیکی و اتصال کوتاه شبکه بالادست و DGهای موجود بر روی خود فیدر نصب DG یا فیدرهای مجاور می باشد. داده‌های دینامیکی و اتصال کوتاه DGهای مجاور باید از شرکت برق مربوطه دریافت و مانند اطلاعات مربوط به DG مورد نظر مشاور وارد نرم افزار گردند. اما اطلاعات دینامیکی اتصال کوتاه شبکه بالا دست نظیر سطح اتصال کوتاه سه فاز و تک فاز و ثابت اینرسی شبکه بالا دست و ضریب کنترل ثانویه فرکانس شبکه بالا دست باید به طور کامل از برق منطقه‌ای مزبور دریافت و همانند شکل زیر وارد نرم افزار شود.



شکل (۵-۸) : داده‌های دینامیکی و اتصال کوتاه شبکه بالادست

۵-۳-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه

بعد از دو گام اول کاربر باید شرایط بارگذاری شبکه، تپ‌چنجر ترانسفورماتورها و تنظیمات سایر ادوات کنترلی شبکه را برای نرم‌افزار مشخص کند. علاوه بر اینها، پارامترهای دیگر شبکه که به نوعی مربوط به شرایط و تنظیمات اولیه شبکه است باید در این مرحله تنظیم شود.

در مطالعات پایداری گذرا زمان مطالعه معمولا محدود به ۳ یا ۵ ثانیه بعد از اولین اغتشاش می شود هر چند ممکن است برای سیستمهای بسیار بزرگ با مدهای نوسانی بین ناحیه ای غالب این زمان به ۱۰ ثانیه هم برسد.

- پارامترهای دخیل در محاسبات پایداری گذرا

- ✓ زاویه اولیه یا قبل از خطای ژنراتور
- ✓ ماکزیمم زاویه ناپایداری ژنراتور
- ✓ مکان خطا
- ✓ نوع خطا
- ✓ راکتانس گذرای ژنراتور (بسته به مقدار T_{do} ژنراتور راکتانس زیرگذرای ماشین)
- ✓ لختی ژنراتور
- ✓ اندازه ولتاژ داخلی ژنراتور(E') که به تحریک بستگی دارد
- ✓ منحنی مشخصه مغناطیسی مدار باز ژنراتور (OCC
- ✓ مشخصات شین بی نهایت

در ادامه نحوه تعیین هرکدام از پارامترهای بالا ارائه می شود.

*** زاویه اولیه یا قبل از خطای ژنراتور**

زاویه اولیه یا قبل از خطا که به بار شبکه بستگی دارد و در هر حالت شبیه سازی می شود ولی بدترین حالت که معادل بیشترین زاویه ماندگار روتور می باشد در حالت بار ماکزیمم رخ می دهد. بنابراین در طرحهای مختلف اتصال DG به شبکه باید **ماکزیمم بار با حضور** DG در نظر گرفته شود. اگر چه در فصل پخش بار انواع طرحها توضیح داده شد ، در اینجا نیز اجمالاً توضیحاتی اضافه می گردد :

- در طرح ۳ در حالتی که بر فیدر مجاور DG نصب شده باشد، باید فیدر مجاور را به طور کامل مدل کرده و اثر خطا بر روی DG مجاور و رفع آن در پست تولید پراکنده مد نظر مشاور لحاظ گردد. همچنین در طرح ۳ اگر از قبل DG نصب شده ای بر روی فیدر نصب DG مد نظر مشاور قرار داشته باشد، باید مطالعات پایداری گذرا به ازای مکان خطا بر روی DG از قبل نصب شده و حد فاصل آن DG و DG مد نظر مشاور صورت بگیرد.

- در طرح ۳ مانورهای موجود بین فیدرها که باعث بدترین حالت و بار ماکزیمم هر کدام از فیدرها می شود را باید در مطالعات پایداری گذرا دخیل کرد.
- در طرح ۳ اگر تعداد DG های مورد مطالعه از ۱ بیشتر باشد، مقدار CCT عموماً با توجه به بدترین خطا در داخل پست تولید پراکنده انتخاب می شود و زمان بدست آمده از پایداری گذرا در داخل پست تولید پراکنده کمتر از DG فیدر یا فیدر مجاور می باشد. ولی اگر فقط یک DG بخواهد به شبکه متصل شود فقط باید زمان بحرانی رفع خطا را با توجه به DGهای از قبل نصب شده و موجود ب روی فیدر محاسبه کرد.
- در طرحهای ۴ و۵ نیز شبیه به طرح ۳ باید پایداری گذرا در حالت ماکزیمم بار انجام شود، و اثر DG های نصب شده بر شینه ۲۰ یا ۳۳ کیلوولت یا ۶۳ کیلوولت یا ۱۳۲کیلوولت پست موجود یا پستهای فوق توزیع مجاور باید در محاسبات وارد شود. سایر نکات موجود در این طرحها مشابه طرح ۳ می‌باشد.

*** مکان خطا**

به طور کلی مکان‌های مورد بررسی جهت اعمال خطا در مطالعات پایداری گذرا همان مکان‌های مورد نظر در مطالعات اتصال کوتاه می‌باشد که در بخش ۴-۳-۳ اشاره شده است با این تفاوت که در اینجا هدف از اعمال خطا محاسبه حداکثر زمان رفع خطا است. یادآور می‌گردد انجام مطالعات پایداری گذرا برای طرح‌های ۱ و ۲ الزامی نیست.

*** نوع خطا**

سه فاز و تک فاز باید هر دو تست شوند و بدترین حالت انتخاب شود.

*** راکتانس گذرای ژنراتور (بسته به مقدار Tdo ژنراتور راکتانس زیرگذرای ماشین)**

راکتانسهای گذرا و زیرگذرای ژنراتور و ترانسفورماتورها طبق DATA SHEET ژنراتور و ترانس انتخاب میشود که در قسمت اتصال کوتاه توضیح داده شد.

*** لختی:**

در یک واحد تولید پراکنده موتور گاز سوز ثوابت اینرسی موتور، ژنراتور و تحریک همگی در تعیین میزان کل ثابت زمانی اینرسی واحد شرکت می کنند. البته میزان اینرسی موتور بسیار بیشتر از اینرسی ژنراتور و تحریک می باشد که در واقع به تفاوت مقدار j(ممان اینرسی) ماشین و موتور بر می گردد. مثلا در یک واحد ۱۰ کیلو واتی شرکت kuhler با اینرسی ۰.۱۹ ثانیه ممان اینرسی موتور برابر $۰.۳۲kg.m^۲$و ممان اینرسی ژنراتور برابر $kg.m^۲$ ۰.۱۱می باشد.

در جدول ۵-۱ رنج ثابت‌های اینرسی ژنراتورهای مقیاس کوچکِ گاز سوز ساخت شرکت UljanikInc بر حسب مقدار ولت آمپر نامی نمایش داده می شود.

جدول (۵-۱) : ثابت‌های اینرسی ژنراتورهای مقیاس کوچک

KVA RATED	۶۹	۱۵۶	۷۸۱	۱۰۴۴	۱۰۰۰	۳۱۲۵	۴۵۱۰
H(S)	۰/۳۲۹	۰/۲۰۵	۰/۵	۰/۵۳۵	۱	۱/۰۷	۱/۰۵

رنج اینرسی ژنراتورهای نیروگاهی بزرگ عموما بین ۲-۹ ثانیه می باشد که به سرعت چرخش و نوع نیروگاه و توان نامی آن ارتباط دارد. رابطه ۵-۶ روش بدست آوردن ثابت اینرسی (H) را نشان می دهد.

$$H=(\frac{۱}{۲}.J.\omega^{۲}\times۱۰^{-۶})/(\text{Rated MVA machine}) \qquad (۵-۶)$$

که در آن :

H : ثابت اینرسی بر حسب ثانیه

J : ممان اینرسی بر حسب کیلوگرم در مترمربع

ω : سرعت چرخش روتور بر حسب رادیان بر ثانیه (یکه در ماشینهای دو قطبه و چهار قطبه متفاوت می باشد)

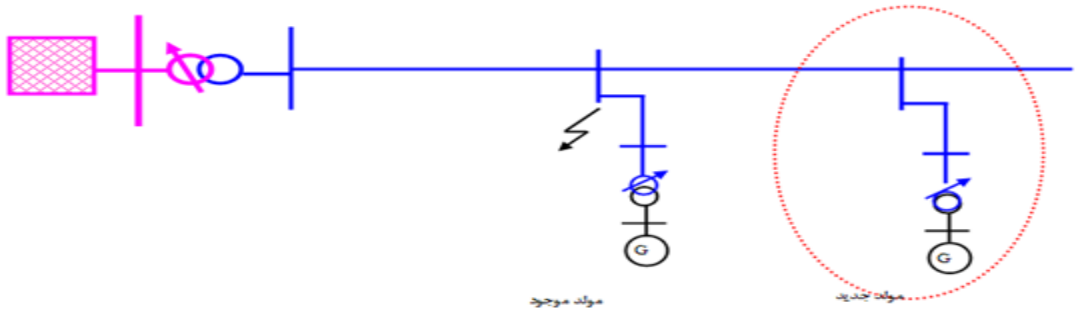
بنابراین در طرح ۳ علاوه بر مشخصات فنی ژنراتور نصب شونده، باید پارامترهای دینامیک ژنراتورهای فیدر های مجاور یا DG موجود بر فیدر نصب DG از جمله ثابت اینرسی آنها را داشته باشیم تا بتوانیم مطالعات پایداری گذرا را انجام دهیم. در طرحهای ۴ و ۵ نیز باید این اطلاعات را چه برای DG های نصب شده بر پست فوق توزیع نصب DG و DG های پستهای مجاور وچه ژنراتورهای قرار داده شده به جای پستهای انتقالِ بالا دست داشته باشیم.

*** اندازه ولتاژ داخلی ژنراتور(E')**

اندازه ولتاژ داخلی ژنراتور در طول زمان خطا برای مطالعات پایداری گذرا به مدل‌سازی سیستم تحریک بستگی دارد. از آنجایی که منبع تولید پراکنده در حالت اتصال به شبکه در مود ضریب توان ثابت بهره‌برداری می‌گردد لذا در زمان وقوع خطا با کاهش توان اکتیو سیستم تحریک ژنراتور ولتاژ را پایین می‌آورد تا توان راکتیو نیز کاهش یابد و نسبت توان اکتیو و راکتیو ثابت باقی بماند. از اینرو سیستم تحریک در این حالت نه تنها باعث بروز ناپایداری نمی‌گردد بلکه با کاهش ولتاژ بر پایداری تاثیر مثبت دارد، لذا مدل‌سازی سیستم تحریک برای این این مطالعه ضرورتی ندارد.

اما در حالتی که منبع تولید پراکنده از شبکه جدا است و بار محلی را تغذیه می‌کند، مولد در مود ولتاژ ثابت بهره‌برداری می‌شود در این حالت هنگام بروز خطا و در نتیجه وقوع افت ولتاژ، سیستم تحریک ژنراتور به منظور ثابت نگه داشتن ولتاژ ژنراتور از طریق افزایش جریان تحریک اقدام به جبران ولتاژ کاهش یافته می‌کند و در نتیجه خطر ناپایداری را افزایش می‌دهد. از این رو در این حالت مدل‌سازی سیستم تحریک ضرورت می‌یابد.

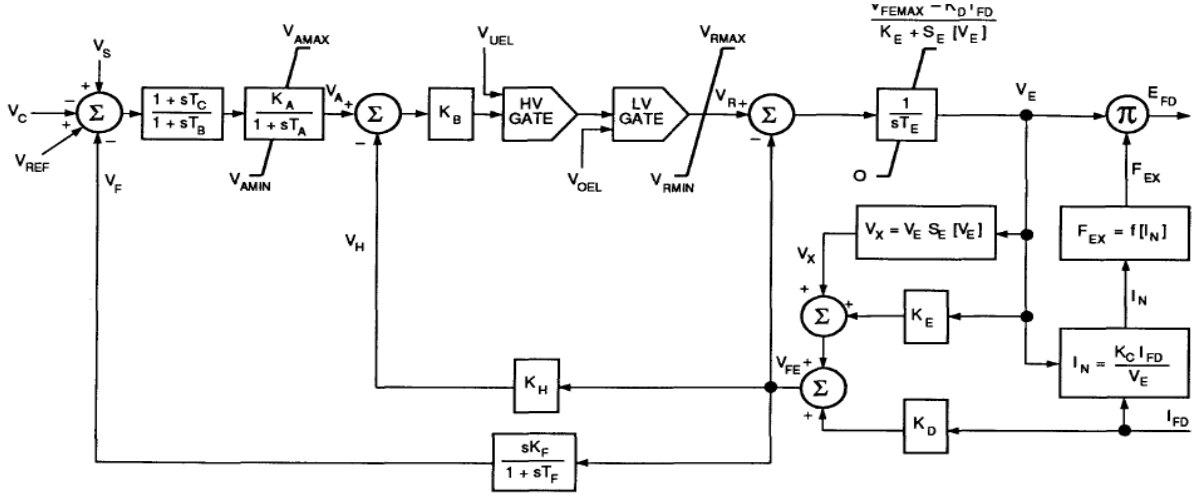
بنابراین AVR فقط باید در حالت‌هایی وارد مدل‌سازی گردد که به نحوی ارتباط بین DG مد نظر مشاور و پست فوق توزیع قطع گردد، که این حالت فقط در طرح ۳ که DG از قبل نصب شده ای بر روی فیدر نصب DG جدید وجود داشته باشد، رخ می دهد. در طرحهای ۴ و ۵ چنین مسئله ای پیش نمی‌آید و جزیره تشکیل نمی شود. در نهایت اگر حالت جزیره ای پیش بیاید باید باتوجه به نوع AVR نصب شده بر ژنراتور از یکی از مدلهای IEEE استفاده کرد.



شکل (۵-۹) : حضور AVR در حالت تامین بار محلی

به عنوان مثال برای تحلیل سیستم تحریک بدون جاروبک PMG عموما از سیستم تحریک مدل ACA۲IEEE استفاده می شود که پارامترها و ثابت زمانیهای آن طبق مرجع مربوطه انتخاب شده است، البته تغییر این پارامترها باعث تغییرات بسیار در زاویه روتور می گردد.

مقادیر پارامترها و بلوگ دیاگرام این سیستم تحریک در شکل ۵-۱۰ ارائه می شود.



شکل (۵- ۱۰) : مدل سیستم تحریک ACA۲

همان طور که در فصول ابتدایی گفته شد حضور AVR باعث غیر نوسانی شدن رابطه توان-زاویه و افزایش CCT می گردد.

جدول (۵-۲) : پارامترهای انتخابی سیستم تحریک

نام پارامتر	نام پارامتر	مقدار پارامتر
Tr	Measurement Delay	۰
TB	Filter Delay Time	۰
TC	Filter Derivative Time Constant	۰
KA	Amplifier Gain	۴۰۰
TA	Controller Time Constant	۰
KB	Controller Gain	۲۵
KH	Minor Stabilization Path Gain	۰/۲۸
KF	Stabilization Path Gain	۰/۶۵
TF	Stabilization Path Time Constant	۰/۴
KC	Rectifier Regulation Constant	۵
KD	Armature Reaction Constant	۰/۰۳۷
TE	Exciter Time Constant	۳/۳
KE	Exciter Constant	۲
E۱	Saturation Factor ۱	۰/۰۲
E۲	Saturation Factor ۳	۰/۰۳
SE۱	Saturation Factor ۲	۱
SE۲	Saturation Factor ۴	۰/۰۹
VFMAX	Exciter Maximum Output	۱۰
VRMIN	Controller Minimum Output	-۸
VRMAX	Controller Maximum Output	-۹۵
VAMIN	Amplifier Minimum Output	۸
VAMAX	Amplifier Maximum Output	۱۰۵

*** منحنی OCC**

مطالب مورد نیاز در خصوص این منحنی در گزارش " تعیین محدوده، شرایط و نیازمندیهای مطالعات اتصال‌کوتاه جهت اتصال DG به شبکهٔ توزیع" ارائه شده است.

*** شبکه معادل ۶۳ کیلوولت به بالا:**

شبکه بی نهایت دارای دو پارامتر اساسی می باشد:

- سطح اتصال کوتاه
- ثابت اینرسی

سطح اتصال کوتاه پست بالا دست هم در حالت سه فاز متقارن و هم در حالت تک فاز باید در دست باشد.

ثابت اینرسی پست بالا دست باید از اینرسی واحد تولید پراکنده بیشتر باشد تا مفهوم بی نهایت بودن شبکه را تداعی کند اگر چه مقدار H شبکه بالا دست در محاسبات CCT اثر گذار نیست و تاثیر آن در محاسبات کنترل فرکانس و تنظیمات بار-فرکانس می باشد.

۵-۳-۴- اجرای برنامه

در این مرحله ابتدا باید محاسبات پخش‌بار را انجام داد. چنانچه محاسبات پخش‌بار همگرا نشود باید سعی شود با کنترل توان راکتیو و اصلاح ولتاژ شینها، محاسبات پخش‌بار را به عنوان شرایط اولیه همگرا نمود. پس از همگرائی محاسبات پخش‌بار، برای کنترل و ارزیابی شرایط اولیه پایداری، محاسبات پایداری گذرا بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه اختلالی در شبکه، انجام می‌شود. در چنین شرایطی، در تمام مدت زمان شبیه‌سازی بایستی کلیه متغیرهای مولدها مانند سرعت و زاویه روتور آنها بدون تغییر و برابر همان مقدار اولیه باقی بمانند. در صورتیکه چنین شرایطی برقرار باشد می‌توان محاسبات پایداری را با وارد نمودن اختلال انجام داد. اما چنانچه بدون اختلال کمیتهای سیستم تغییر نمایند این بدین معنا است که شرایط اولیه سیستم برای محاسبات پایداری به درستی برقرار نشده است و باید مشکل عدم تطابق را پیدا نموده و آن را اصلاح نمود.

پس از برقراری شرایط اولیه، محاسبات پایداری گذرا برای شدیدترین خطا انجام می‌شود. بدترین اختلال، خطایی است که باعث می‌شود در دوره اختلال توان انتقالی مولد به شبکه صفر گردد. برای این منظور اتصال‌کوتاه سه‌فازی در مسیر اصلی فیدر تغذیه کننده مولدها اعمال می‌گردد. سپس با تکرار محاسبات پایداری گذرا بصورت سعی و خطا زمان بحرانی رفع خطا محاسبه می‌شود.

۵-۳-۵- تحلیل نتایج

بعد از اجرای کامل برنامه، نتایج مطالعات در اختیار کاربر قرار می‌گیرد که بایستی مورد تحلیل قرار گیرند. نتایج دور از انتظار باید به دقت بررسی شده و دلیل غیر منطقی بودن آنها که ممکن است نشانهٔ بروز خطا در ورود داده‌ها باشد، بررسی و مرتفع گردد.

بزرگتر بودن زمان بحرانی رفع خطا (حداکثر زمان تحمل خطا توسط مولد پراکنده) در مقایسه با زمان عملکرد رله های حفاظتی موجود در شبکه به عنوان قید و فاکتور اصلی برای اتصال تأسیسات یک DG جدید به شبکه مطرح می‌باشد.

کوچکترین زمان بحرانی تحمل خطا برای مولد باید حداقل ۱/۵ برابر بیشترین زمان عملکرد رله‌های شبکه باشد.

به ازای یک طرح اتصال داده شده برای یک مولد پراکنده معین، پس از محاسبه زمان بحرانی تحمل خطا می‌توان بررسی نمودکه آیا زمان بحرانی تحمل خطای (CCT) مولد از ۱/۵ برابر بزرگترین زمان عملکرد رله حفاظتی $T_{\text{clear}}^{\max}$ موجود در شبکه بزرگتر است یا خیر.

$$CCT > ۱.۵\, T_{\text{clear}}^{\max}$$

چنانچه شرط فوق برقرار باشد الزام دینامیکی پایداری گذرا برای طرح اتصال برقرار می‌باشد. اما چنانچه شرط فوق برقرار نشود باید یکی از اجرای راهکارهای زیر پیشنهاد گردد:

۱) زمان عملکرد رله‌ها بگونه‌ای تنظیم شوند که شرط فوق برقرار شود.

۲) طرح اتصال بگونه‌ای اصلاح شودکه زمان بحرانی تحمل خطا بزرگ شده و شرط فوق را ارضاء نماید.

۳) در صورتیکه امکان برقراری دو شرط فوق وجود نداشته باشد و اجرای اتصال مولد به شبکه ضروری باشد در اینصورت مولد باید حتماً به رله حفاظتی خروج از سنکرون مجهز گردد. توصیه می‌گردد به منظور افزایش امنیت و پایداری مولدها و شبکه تمامی مولدها به **رله های حفاظتی خروج از سنکرون** مجهز گردند تا در صورتیکه مولد به دلیل شرایط، عوامل و اختلالات ناشناخته‌ای ناپایدار گردید و از سنکرون خارج شد رله مانع از آسیب جدی به مولد گردد.

در حالتی که پست تولید پراکنده شامل یک ژنراتور باشد و فاصله اتصال DG از پست بالادست زیاد باشد مقدار CCT ممکن است از ۵۰۰ میلی ثانیه بیشتر گردد که در این صورت باید از معیار نرخ تغییرات فرکانس (df/dt) به منظور جلوگیری از ایجاد جزیره ناخواسته و تنظیم حداقل زمان قطع رله‌های اضافه جریان استفاده شود

فصل ششم

مطالعات کیفیت توان

۶-۱- مقدمه

افزایش تقاضا برای مصرف انرژی الکتریکی با توجه به مزایای این نوع انرژی و رشد صنعتی کشورهای مختلف، نیاز به تولید بیشتر این انرژی ارزشمند و پاک را در پی داشته است. از همین‌رو کشورهای مختلف جهت پاسخگویی به نیاز مصرف، به استفاده از منابع تولید پراکنده جهت تولید انرژی الکتریکی روی آورده‌اند. استفاده از منابع تولید پراکنده مزایای زیادی به همراه دارد که استفاده از این مولدها را توجیه‌پذیر می‌کند. افزایش حضور منابع تولید پراکنده در نزدیکی بارها، کاهش تلفات و افت ولتاژ را در پی خواهد داشت. بعلاوه، وجود این منابع می‌تواند نیاز به سرمایه‌گذاری جدید جهت توسعه شبکه توزیع موجود را به تعویق بیاندازد. اما بایستی توجه داشت که اتصال این منابع تولید پراکنده به شبکه، بدون شک تأثیراتی را برای شبکه به دنبال خواهد داشت، مثل شارش توان در دو جهت و افزایش سطح جریان خطا، که می‌تواند عملکرد تجهیزات مختلف و بهره‌برداری از شبکه و تأسیسات مختلف را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این، افزایش نفوذ منابع تولید پراکنده در شبکه می‌تواند تأثیرات عمده‌ای بر کیفیت توان شبکه توزیع داشته باشد.

کیفیت توان بالا در سیستم قدرت، به معنی توانایی سیستم برای تحویل برق بدون نوسان، در ولتاژ و جریان نامی گفته می‌شود. در صورت شدت پدیده‌های کیفیت توان در شبکه، صنایع و شرکتهای مختلف متحمل هزینه‌های متفاوتی خواهند شدکه دلایل آن شامل موارد زیر است:

- خسارات وارد شده به تجهیزات
- از بین رفتن محصولات موجود در خط تولید برخی از کارخانه‌ها
- هزینه‌های نگهداری اضافی
- هزینه تعمیر تجهیزات خسارت دیده
- از دست رفتن درآمد در زمان خرابی تجهیزات
- هزینه‌های پرسنلی اضافی

بنابراین، یکی از مطالعاتی مهمی که قبل از اتصال منابع تولید پراکنده باید انجام شود مطالعات کیفیت توان خواهد بود. در استانداردهای مختلف شاخص‌هایی جهت ارزیابی کیفیت توان معرفی شده که برای بهره‌برداری مناسب از شبکه و عملکرد مناسب تجهیزات، هر یک از این شاخص‌ها باید در محدوده مجاز تعریف شده در استاندارد قرار داشته باشند. **در این راهنما برای حفظ جنبه کاربردی راهنمای ارائه شده نحوه انجام مطالعات در نرم‌افزار Digsilent توضیح داده شده است.**

۶-۲- انجام محاسبات کیفیت توان به وسیله نرم‌افزار

۶-۲-۱- جمع آوری اطلاعات :

در این نوع مطالعه مشاور باید سه طیف داده را تهیه و ارزیابی کند طیف اول داده های خود ژنراتور می باشند که به ۴ قسمت تقسیم می گردند و عبارتند از :

بخش اول: اطلاعات پایه پخش بار ژنراتور مانند راکتانس طولی و عرضی حالت پایدارِ ژنراتور

بخش دوم: داده های اتصال کوتاه ژنراتور نظیر راکتانسها ی مولفه مثبت ومنفی و صفر

بخش سوم: منحنی اشباع و نمودار تغییر راکتانس و رزیستانس ژنراتور بر حسب فرکانس

بخش چهارم: هارمونیک(جریان یا ولتاژ) تولیدی ژنراتور در مراتب مختلف هارمونیک

تمامی داده های بخش اول باید از برگه مشخصات فنی خود ژنراتور استخراج شود که این برگه باید توسط سازنده به صاحب DG تحویل داده شده باشد.

داده های بخش دوم عبارتست از داده های پخش باری شبکه بالا دست و پایین دست که البته بسته به طرح انتخابی اتصال DG متفاوت می باشد. در طرح ۳ باید داده های شبکه بالا دست و پایین دست را در محیط *AutoCAD* یا *GIS* به طور کامل از شرکت توزیع مربوطه دریافت کرد. این اطلاعات شامل سطح مقطع، طول و جنس خطوط و کابلها و بار مشترکین می باشد. در طرح ۴ و ۵ نیازی به اطلاعات شبکه پایین دست نمی باشد (زیرا شبکه پایین‌دست به صورت بار مدل‌سازی می‌شود) ولی داده های پخش باری پست بالادست مورد نیاز می باشد که این داده ها باید از شرکتهای برق منطقه ای مربوطه دریافت گردند.

داده‌های بخش سوم اطلاعات هارمونیکی (THD) بارهای موجود بر شبکه بالا دست و پایین دست DG در طرح ۳ و کلا بارهای تغذیه شده از پست فوق توزیع در طرحهای ۴ و ۵، که این قسمت نیازی به اطلاعات دریافتی از شرکت‌های توزیع ندارد چرا که مثلا در طرح ۳ می‌توان از جدول ۶-۱ با توجه به نسبت جریان نامی هر بار به جریان اتصال کوتاه سر فیدر میزان هارمونیک مجاز آن بار را تخمین زد بنابراین با فرض آنکه تمامی بارهای شبکه در محدوده مجاز هارمونیکی خود قرار داشته باشند می‌توان محاسبات را انجام داد.

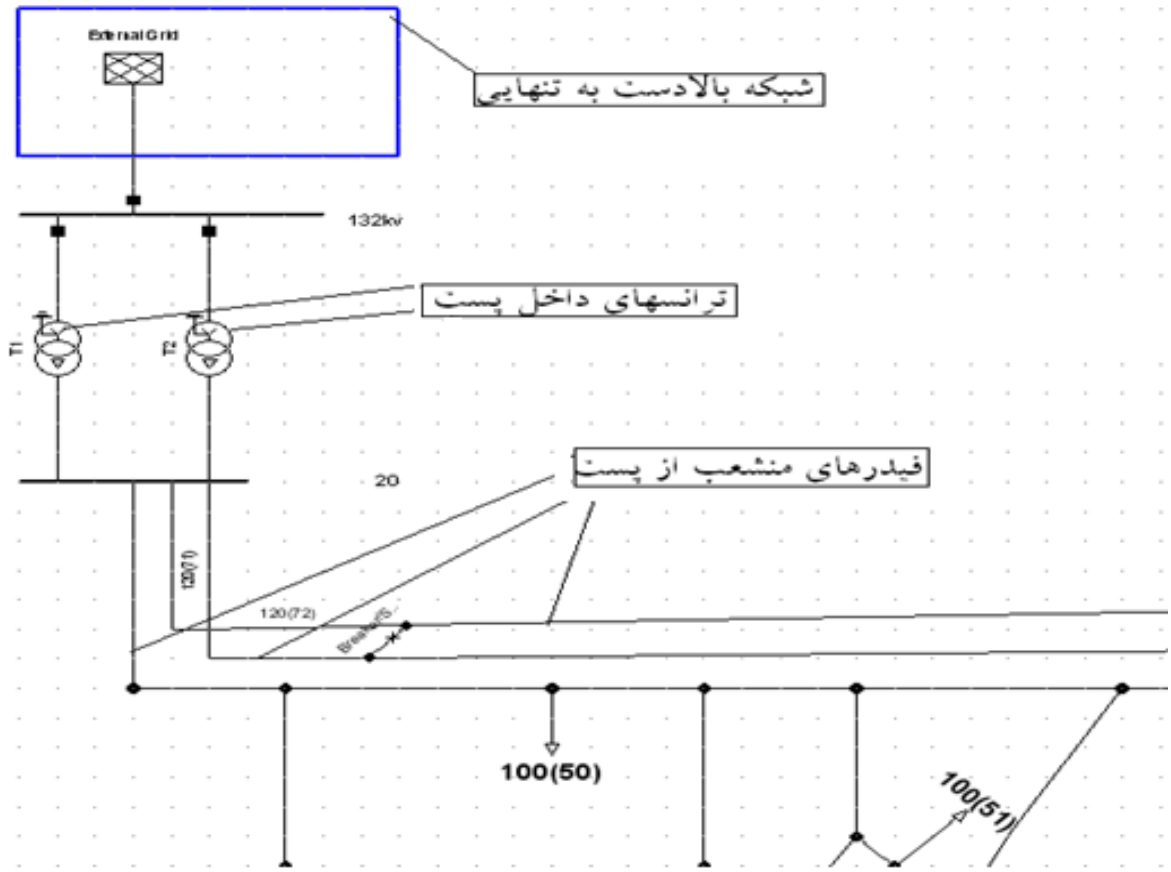
داده‌های بخش چهارم داده‌های هارمونیکی ژنراتورهای مقیاس کوچک فیدرهای مجاور یا DG های منصوبه بر روی پست بالا دست و فیدر مجاور یا خود فیدر مد نظر مشاور می باشد. تمامی داده های

هارمونیکی مربوط به DGهای مجاور باید از برق منطقه ای یا شرکت توزیع مربوطه دریافت گردد. تمامی داده های گفته شده در بخش اول در این قسمت نیز باید راجع به DG های مجاور دریافت گردد.

در این بخش نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای انجام محاسبات کیفیت توان بیان می‌گردد.

- **شبکه بالادست**

عموما هارمونیک تزریقی از پست بالا دست **DG** در طرح ۳ بسیار کم بوده و پست بالا دست **DG** عموما با هارمونیک صفر در نظر گرفته می شود مگر آنکه در پست بالادست **DG** ای دیگری نصب شده باشد که آن **DG** به شبکه هارمونیک تزریق نماید. در طرحهای ۴ و ۵ نیز خود پست بالا دست هارمونیکی تزریق نمی کند ، مگر آنکه **DG** های موجود بر فیدرهای منشعب از پست دارای هارمونیک تزریقی به شبکه باشند. بنابراین شبکه بالا دست به تنهایی هارمونیکی تزریق نمی‌کند. در شکل زیر منظور از شبکه بالادست به صورت تصویری مشخص گشته است.



شکل (۶-۱) : نمایشی از یک نمونه شبکه بالادست

- ترانسفورماتور فوق توزیع سیستم:

در مورد ترانسفورماتور فوق توزیع علاوه بر داده های پخش بار ترانسفورماتور نظیر امپدانس اتصال‌کوتاه و نوع سیم‌بندی و گروه برداری (گروه برداری ترانسفورماتور تاثیر بسزایی در حذف یا عدم حذف هارمونیک سوم دارد) باید مشخصه اشباع ترانسفورماتور که به علت منحنی هیسترزیس هسته بوجود میاید و باعث هارمونیکی شدن جریان کشیده شده از ترانسفورماتور می گردد را تهیه نمود. برای مثال در شکل زیر مشخصه اشباع ترانسفورماتور ۳۰ مگاولت آمپری ایران ترانسفو از طریق آزمایش بی باری مشخص شده است.

جدول (۶-۱) : مشخصه بی باری ترانسفورماتور ۶۳/۲۰ کیلو ولت ایران ترانسفو

مقادیر اندازه‌گیری شده در حالت بی‌باری ترانسفورماتور ۳۰ مگاولت‌آمپری شرکت ایرانترانسفو									
تلفات هسته	توان فاز ۳	توان فاز ۲	توان فاز ۱	جریان بی‌باری پریونیت	میانگین جریان	جریان بی‌باری فاز ۳	جریان بی‌باری فاز ۲	جریان بی‌باری فاز ۱	مقدار ولتاژ مؤثر
۳۶۵۶۰	۱۵۵۶۰	۳۲۸۲۰	- ۱۱۸۲۰	۱/۱۱	۹/۶۴	۱۱/۵۴	۸/۶۰	۸/۷۹	۲۲۰۰۰
۲۸۳۵۰	۱۲۳۴۰	۱۷۵۳۰	- ۱۵۲۰	۰/۴۸	۴/۱۸	۵/۰۴	۳/۶۹	۳/۸۱	۲۱۰۰۰
۲۲۸۱۰	۱۰۰۶۰	۱۰۴۲۰	۲۳۳۰	۰/۲۴	۲/۱۲	۲/۵۳	۱/۸۴	۱/۹۸	۲۰۰۰۰
۱۹۰۴۵	۸۳۱۲	۷۴۲۷	۳۳۰۶	۰/۱۶	۱/۳۴	۱/۶۰	۱/۱۵	۱/۲۸	۱۹۰۰۰
۱۶۳۷۱	۷۰۵۱	۵۸۶۰	۳۴۶۰	۰/۱۱	۰/۹۸	۱/۱۷	۰/۸۳	۰/۹۴	۱۸۰۰۰

در آزمایش بالا ولتاژ فشار ضعیف (ستون اول) و درصد جریان جریان بی باری (ستون ششم) برای رسم منحنی اشباع به کار می آیند.

- ژنراتورها :

در مطالعات هارمونیکی مربوط به ژنراتورها علاوه بر داده های پخش بار نظیر راکتانس و مقاومت باید رنج و منحنی تغییر راکتانس و مقاومت بر حسب فرکانس را داشته باشیم تا بتوانیم در فرکانسهای مختلف نظیر ۱۵۰ هرتز و ۲۵۰ هرتز و ... پخش بار هارمونیکی انجام دهیم.

علاوه بر آن همان طور که در ابتدای فصل گفته شد هدف از محاسبات هارمونیک تعیین میزان هارمونیک تزریقی به شبکه توسط DG می باشد، بنابراین باید مراتب هارمونیکی تزریقی توسط DG مورد نظر مشخص باشد. برای مثال در شکل ۶-۲ مراتب هارمونیکی تزریقی ولتاژ توسط ژنراتور **SR۴B** ارائه گشته است.

Harmonic	⅔ Pitch No Load	⅔ Pitch Full Load
Line to Line		
3rd	0.10%	0.35%
5th	1.75	2.31
7th	0.76	0.35
9th	0.08	0.05
11th	0.12	0.95
13th	0.26	0.39
15th	0.02	0.02
Total	**1.93%**	**2.57%**
Line to Neutral		
3rd	0.20%	0.09%
5th	1.54	2.11
7th	0.77	0.35
9th	0.01	0.1
11th	0.18	0.94
13th	0.24	0.43
15th	0.07	0.05
Total	**1.76%**	**2.38%**

شکل (۶-۲) : هارمونیک ولتاژ تولیدی ژنراتور **SR۴B** ساخت **CAT**

داده دیگری که در مورد ژنراتور مورد نیاز می باشد، منحنی اشباع ژنراتور است که بر مطالعات هارمونیک تاثیر گذار است.

- ترانسفورماتورهای توزیع $۲۰kV/۴۰۰V$:

تمامی داده هایی که در مورد ترانسفورماتور فوق توزیع مورد نیاز است درباره ترانسفورماتور توزیع نیز باید باشد.

- خطوط موجود در شبکه :

در مورد خط و کابل اتصالی بین پست تولید پراکنده و شبکه یا سایر خطوط موجود در شبکه علاوه بر داده های پخش بار و داده های اتصال کوتاه نظیر راکتانس و مقاومت مولفه مثبت منفی و صفر باید مقاومت و راکتانس خطوط در فرکانسهای مختلف (۱۵۰ هرتز و ۲۵۰ هرتز و ۳۵۰ هرتز) در دست باشند. اما در مورد کابل داده مهم دیگری که مورد نیاز می باشد خازن کابل در فرکانسهای مختلف است که هم در محاسبات پخش بار هارمونیکی تاثیر گذار است و هم در محاسبات فروروزونانس.

- بارهای موجود در شبکه

همان طور که می دانیم بارهای شبکه عموما نا متعادل بوده و باعث ایجاد هارمونیک جریان در شبکه می شوند. به خصوص در مورد بارهای صنعتی نظیر کارخانجات ذوب آهن و ریسندگی میزان هارمونیک جریان کشیده شده توسط بار به شدت بالا میرود. البته عموما داده ی کاملی از میزان هارمونیک کشیده شده توسط بارهای شبکه در دسترس نمی باشد. به همین دلیل فرض می شود که تمامی بارهای موجود در شبکه فشار متوسط از استاندارد هارمونیک جریان کشیده شده پیروی می کنند که در جدول ۶-۲ ارائه گشته است.

جدول (۶-۲) : حدهای مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های توزیع عمومی ۳۸۰ ولت و ۲۰ کیلوولت

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان ماکزیمم مصرفی بدون هارمونیک مشترک										
R	مرتبه هارمونیک فرد									اعوجاج کلی جریان
	۱		۱		۲					
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج
	۴	۱	۲	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۶	۱/۰	۰/۳	۰/۱	۵
	۱۰	۱/۷	۳/۵	۰/۹	۲/۵	۰/۶	۱	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۸
	۱۲	۲/۵	۴/۵	۱/۱	۴	۱	۱/۵	۰/۴	۰/۷	۰/۱	۱۲
.	۱۷	۳	۵/۵	۱/۴	۵	۱/۲	۲	۰/۵	۱	۰/۲	۱۵
	۱۵	۳/۸	۷	۱/۷	۶	۱/۵	۲/۵	۰/۶	۱/۴	۰/۳	۲۰

R : بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی بدون هارمونیک به جریان اتصال در محل تغذیه

جدول (۶-۳) : حدهای مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های توزیع عمومی ۶۳ کیلوولت و ۱۳۲ کیلوولت

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان ماکزیمم مصرفی بدون هارمونیک مشترک										
R	مرتبه هارمونیک فرد									اعوجاج کلی جریان
	۱		۱		۲					
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج
	۲	۰/۵	۱	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰	۲/۵
	۳/۵	۰/۹	۱/۷	۰/۴	۱/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰	۴
	۵	۱/۲	۲/۲	۰/۶	۲	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۶
.	۶	۱/۵	۲/۷	۰/۷	۲/۵	۰/۶	۱	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۷/۵
	۷/۵	۱/۹	۳/۵	۰/۹	۳	۰/۷	۱/۲	۰/۳	۰/۷	۰/۲	۱۰

۶-۲-۲- مدل‌سازی

با توجه به موقعیت شین بی‌نهایت شبکه برای مولدها و مسیر راکتانسی مولدها، دیاگرام تک‌خطی شبکه مورد مطالعه مشخص شده و سپس در محیط نرم‌افزار ترسیم و ساخته می‌شود. فیدرهایی که صرفاً به صورت پاسیو و بدون مولد هستند در نظر گرفته نمی‌شوند و تنها بار آنها در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات عناصری که در دیاگرام تک‌خطی شبکه هستند وارد نرم‌افزار می‌گردد و بدین ترتیب یک شبکه مدلسازی می‌شود.

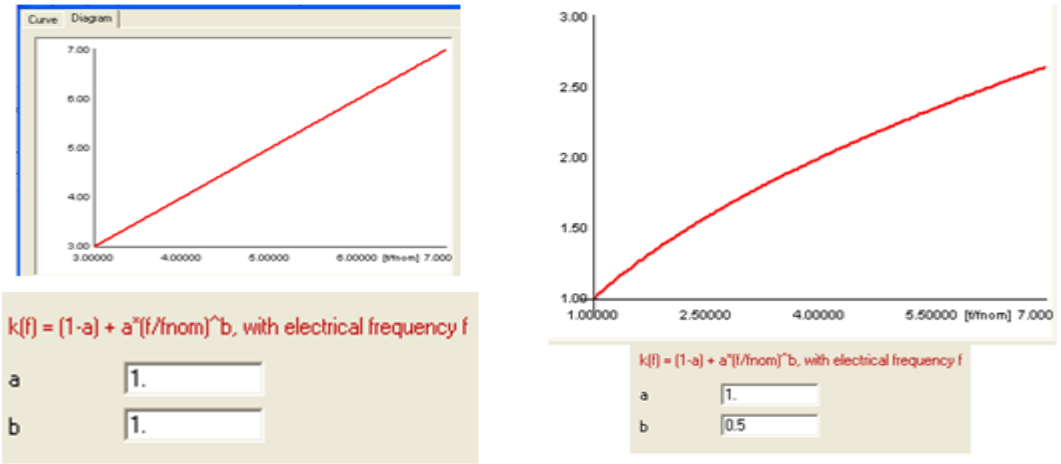
در صورتی که امکان انجام مانور در فیدر محل اتصال منبع تولید پراکنده وجود دارد، مطالعات کیفیت‌توان باید به ازای مانورهای مختلف انجام شود.

- نحوه مدلسازی اجزای مختلف شبکه :

در این بخش نحوه مدلسازی تجهیزات مختلف شبکه نظیر ژنراتور و ترانسفورماتور و بارها در مطالعات کیفیت توان شرح داده می شود.

- مدل‌سازی ژنراتور:

در مورد ژنراتور داده های بخش اول و دوم در قسمت پخش بار و اتصال کوتاه تشریح شد و در اینجا دیگر تکرار آنها خسته کننده خواهد بود بنابراین در این مبحث فقط داده های بخش سوم و چهارم از داده های طیف اول ژنراتور تشریح می گردند.



شکل (۶-۳) : رابطه و نمودار راکتانس و رزیستانس ژنراتور بر حسب فرکانس

در شکل بالا رابطه تغییر راکتانس و و رزیستانس ژنراتورها بر حسب فرکانس که توسط پارامترهای **a** و **b** معین می گردند نمایش داده شده است.

در ادامه در شکل ۶-۴ مراتب هارمونیک ولتاژ تولیدی ژنراتور **SR۴B** در نرم افزار **DIGSILENT** نمایش داده می شود.

Harmonic Voltages:

	Frequency Hz	Harmonic	u1, Mag. p.u.	u1, Ang. deg	u0, Mag. p.u.	u0, Ang. deg	u2, Mag. p.u.	u2, Ang. deg
▶ 1	50.	1.	0.999	0.	0.999	0.	0.999	0.
2	150.	3.	0.0035	0.	0.0035	0.	0.0035	0.
3	250.	5.	0.00231	0.	0.00231	0.	0.00231	0.
4	350.	7.	0.0035	0.	0.0035	0.	0.0035	0.
5	450.	9.	0.0005	0.	0.0005	0.	0.0005	0.
6	550.	11.	0.0095	0.	0.0095	0.	0.0095	0.
7	650.	13.	0.0039	0.	0.0039	0.	0.0039	0.

شکل (۶-۴) : مراتب هارمونیک ولتاژ تولیدی ژنراتور SR۴B در نرم افزار DIGSILENT

داده‌های بخش سوم مربوطه به **THD** بارهای شبکه می باشد که که در شکل زیر طبق جدول و استاندارد **IEC۶۱۰۰۰** وارد شده است.

Type of Harmonic Sources
- ○ Balanced, Phase Correct
- ○ Unbalanced, Phase Correct
- ◉ IEC 61000

Integer Harmonics:

	I_h/I %
f/fn=2	0.
f/fn=3	2.
f/fn=4	0.
f/fn=5	0.
f/fn=6	3.
f/fn=7	5.
f/fn=8	0.
f/fn=9	6.
f/fn=10	0.
▶ f/fn=11	10.

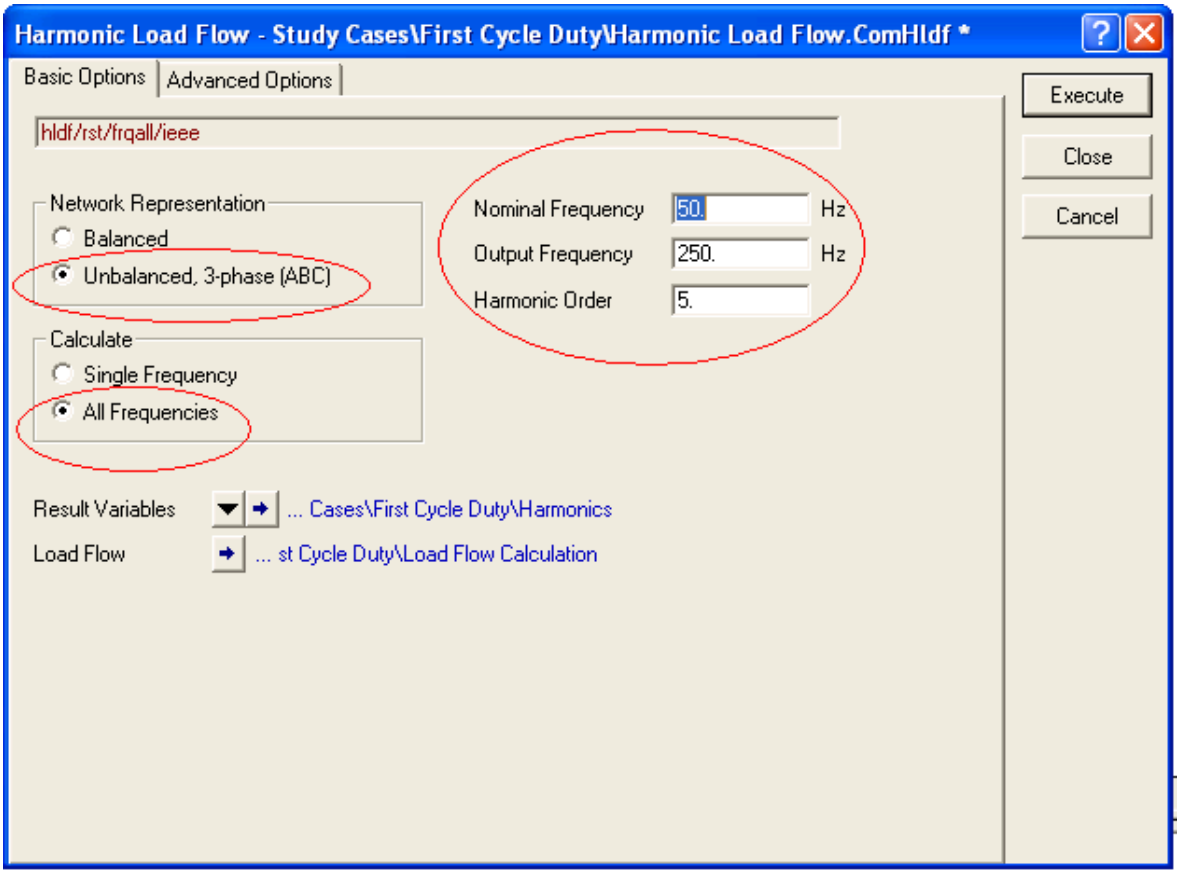
Non-Integer Harmonics:

	Harmonic Order	I_h/I %
▶ 1	0.	0.

شکل (۶-۵) : هارمونیک های فرد یک بار ۲۰ کیلو ولت

۶-۲-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه

بعد از تعیین داده‌های مورد نیاز شبکه و مدلسازی اجزای شبکه برای محاسبات کیفیت توان، کاربر باید اطلاعات مربوط به هر یک از تجهیزات شبکه را که در مدلسازی ترسیم نموده است بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده در قسمت ۶-۲-۱ در نرم‌افزار تنظیم نماید. سپس باید داده‌های مورد نیاز برای محاسبات هارمونیکی (مرتبه‌ی هارمونیک مورد مطالعه، فرکانس شبکه) تعیین گردد. در نرم‌افزار DIgSILENT این داده‌ها به صورتی که در شکل ۶-۶ آمده است، برای نرم‌افزار تعریف می‌شوند.



شکل (۶-۶) : ورود داده‌های مورد نیاز برای محاسبات مربوط به کیفیت توان به نرافزار DIgSILENT

۶-۲-۴- اجرای برنامه

بعد از مدلسازی شبکه و انجام تنظیمات مناسب در نرم‌افزار، بمنظور تحلیل شبکه برنامه اجرا می‌شود. در این مرحله چنانچه شبکه به درستی مدلسازی شده باشد و اطلاعات مربوط به تجهیزات و شبکه کامل و بی‌نقص در نرم‌افزار وارد شده باشند، نرم‌افزار، شبکه مدلسازی شده را تحلیل کرده و نتایج مورد

درخواست کاربر را ارائه می‌نماید. در صورت بروز مشکل در حین اجرای برنامه، نرم‌افزار پیغام خطا می‌دهد که کاربر باید بعد از بررسی و رفع خطا، برنامه را دوباره اجرا نماید.

۶-۲-۵- تحلیل نتایج

در مطالعات کیفیت توان هارمونیک‌های ولتاژ از طرف منبع تولید پراکنده مورد بررسی قرار می‌گیرد که می‌بایست با مقادیر مجاز که در دستورالعمل اتصال مولدهای پراکنده ذکر شده است، مقایسه گردد و در صورتی‌که از مقادیر مجاز تجاوز نکند اجرای طرح اتصال از نظر مطالعات کیفیت توان بلامانع است.

فصل هفتم

مطالعات هماهنگی حفاظتی

۷-۱- مقدمه

در کنار مزایایی که اتصال منابع تولید پراکنده به سیستم به همراه دارد، این منابع ممکن است که تأثیرات بالقوه‌ای نیز بر بهره‌برداری، حفاظت و کنترل سیستم‌های توزیع و انتقال داشته باشند. نصب این ژنراتورها، توزیع مجدد بار را به همراه خواهد داشت و همچنین در مواردی باعث افزایش جریان خطا و مشکلات اضافه ولتاژ خواهد شد.

با اضافه شدن تولیدات پراکنده به سیستم توزیع، نحوه تحلیل رخدادهایی که در شبکه اتفاق می افتند از این تولیدات متاثر خواهد شد. غالبا فرض اساسی شعاعی بودن سیستم توزیع در اینحالت برقرار نیست. لذا عنصر حفاظتی در یک سیستم دارای چندین منبع تولید پراکنده باید دارای حساسیت جهتی باشد، فیوزها و ریکلوزرها خواص جهتی ندارند، در حالی که رله ها می توانند به آسانی با حساسیت جهتی ساخته شوند. از لحاظ اقتصادی جابجایی فیوزها و ریکلوزرها با رله های جهتی درتمام سیستم توزیع غیر عملی خواهد بود. بنابراین نیاز به یک تحلیل کلی برای تشخیص دقیق مشکلات هماهنگی فیوز – فیوز و فیوز – ریکلوزر خواهیم داشت.

بنابراین، یک الزام اساسی که اتصال آنها را به شبکه مجاز می‌کند برقراری هماهنگی مناسب بین طرح‌های حفاظتی ژنراتورهای مستقل تولید پراکنده و شرکت‌های برق می‌باشد. در یک سیستم حفاظتی کارآمد و هماهنگ، خطا در کمترین زمان ممکن برطرف می‌شود و کمترین بخش از سیستم به دلیل وقوع خطا از سیستم جدا می‌شود.

احداث DG در شبکه می‌تواند باعث به وجود آمدن مشکلات متعددی در زمینهٔ عملکرد نادرست سیستم حفاظتی شود. ناسازگاری بین DG و سیستم حفاظتی عموماً مربوط به مسایل زیر می‌باشد:

- افزایش در جریان‌های اتصال‌کوتاه
- کارایی وصل مجدد خط بعد از بروز خطا
- هماهنگی سیستم حفاظتی

با توجه به مطالب فوق، انجام مطالعات اتصال‌کوتاه در شبکهٔ توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با توجه به آثار این منابع در شبکه، بیش از پیش الزامی می‌باشد. هدف اصلی برقراری هماهنگی حفاظتی شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده است. مطالعات اتصال‌کـــوتاه پایه مطالعات هماهنگی حفاظتی می-

باشد. بنابـــراین، ابتدا توضیحاتی در مورد نحوهٔ انجام محاسبات اتصال‌کوتاه در سیستم قدرت و سپس در بخش‌های بعدی نحوه طراحی سیستم حفاظتی، در حضور منابع تولید پراکنده ارائه می‌گردد.

اتصال‌کوتاه در یک شبکه آثار سوء بسیار زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- عبور جریان نسبتاً زیاد از عناصر مختلف شبکه (خط، ترانسفورماتور، کلید و ...) و تولید گرمای زیاد و در نتیجه وارد آمدن خسارت به تجهیزات و همچنین ایجاد نیروی الکترومغناطیسی و احتمالاً خسارت مکانیکی در صورت عدم طراحی صحیح

- افت بیش از حد ولتاژ شینه‌ها و عدم امکان توان‌رسانی به مصرف‌کنندگان واحیاناً آسیب دیدن آنها

- امکان از دست‌رفتن پایداری ژنراتورها و سیستم قدرت، به علت این که به واسطهٔ افت ولتاژ، ژنراتورها قادر به انتقال توان اکتیو تولیدی در درون خود نبوده و لذا انباشتگی توان و انرژی در ژنراتورها باعث افزایش انرژی جنبشی آنها و در صورت عدم کنترل موجب ناپایداری و از دست رفتن سنکرونیزم آنها با شبکه گردد.

با توجه به آثار سوء اتصال‌کوتاه که به بعضی از آنها در بالا اشاره گردید و ضرورت حفاظت سیستم قدرت در مقابل این جریان‌ها و به منظور طراحی صحیح سیستم حفاظتی لازم است که محاسبات و مطالعات اتصال‌کوتاه در یک شبکه به طور دقیق انجام شود.

علاوه بر انجام مطالعات اتصال کوتاه، مطالعات پایداری گذرا نیز بسیار مهم می باشد. هدف از انجام مطالعات پایداری گذرا در مطالعات طرح اتصال به شبکه محاسبه زمان بحرانی رفع خطا CCT می باشد. از این زمان برای تنظیم هماهنگ رله‌های حفاظتی مربوطه استفاده می شود.

در مواردی که بهره بردارDG به منظور افزایش قابلیت اطمینان، حتی با وجود وقوع خطا در شبکه قصد تامین بار محلی به صورت مستقل از شبکه را داشته باشد انجام مطالعات پایداری گذرا می تواند شرایط حصول این خواسته را ارزیابی نماید.

به طور کلی، سیستم حفاظتی که اصطلاحاً به عملکرد مجموعه‌ای از رله‌های حفاظتی گفته می‌شود بر اساس استراتژی ایزوله و منفک نمودن محل خطا در کوتاه‌ترین زمان و محدودترین مکان مبتنی می‌باشد.

۷-۲- هدف

هدف از هماهنگی حفاظتی در حضور منابع تولید پراکنده، طراحی یک سیستم حفاظتی با عملکرد صحیح به هنگام وقوع خطا در شبکه توزیع است بطوریکه فقط محل وقوع خطا را از شبکه جدا کرده بدون اینکه خللی در عملکرد سیستم های بدون خطای شبکه داشته باشد. این سیستم به منظور جلوگیری از آسیب‌های احتمالی ناشی از اتصال کوتاه در شبکه توزیع طراحی می‌شود. برخی از آسیبهای احتمالی ناشی از اتصال کوتاه عبارتند از:

- تأثیر حرارتی جریان‌های خطا بر روی اجزای شبکه
- فشارهای مکانیکی بر روی اجزای شبکه
- چگونگی تأثیرگذاری وقوع اتصال‌کوتاه بر پایداری گذرای ژنراتورها

بطورکلی بحث هماهنگی حفاظتی در مورد رله های جریانی مطرح می باشد که برای انجام آن باید ابتدا نقش و جهت رله‌ها را برای انواع خطاها مشخص نمود.

مهمترین نکته برای اجرای دقیق یک سیستم حفاظتی تعیین نوع تجهیزات حفاظتی و سپس مکان نصب آنها می باشد. بر اساس طرح‌های مجاز برای اتصال DG به شبکه قدرت می‌توان تجهیزات حفاظتی مورد نیاز هر طرح را در جدول۷-۱ لیست نمود.

علاوه بر تعیین نوع تجهیز حفاظتی لازم است مکان های مختلف بروز خطا در شبکه و همچنین نوع خطا که در مطالعات هماهنگی حفاظتی باید لحاظ گردد نیز مشخص گردد. بطور کلی نقاط مختلف بروز خطا در شبکه عبارتند از:

- بروز خطا روی فیدر محل اتصال DG (بالادست و پایین دست)
- بروز خطا در داخل سایت نیروگاه تولید پراکنده
- بروز خطا در فیدرهای مجاور محل اتصال DG

انواع خطاهائی که در مطالعات هماهنگی حفاظتی مد نظر قرار می گیرند عبارتند از:

- خطاهای تکفاز
- خطاهای سه فاز

جدول (۷-۱) : حداقل تجهیزات حفاظتی برای اتصال ***DG*** در کلاس ها و طرح های مختلف

شماره تجهیزات حفاظتی	کلاس های مختلف و طرح های اتصال آنها به شبکه								
	کلاس ۱ (طرح ۱)	کلاس ۱ (طرح ۲)	کلاس ۲ (طرح۲)	کلاس ۲ (طرح۳)	کلاس ۳ (طرح۳)	کلاس ۴ (طرح۳)	کلاس ۴ (طرح ۴)	کلاس ۵ (طرح ۴)	کلاس ۵ (طرح۵)
۲۵	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۲۷	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۳۲	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۴۶	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۵۰/۵۱	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۵۰/۵۰*N*	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
۵۱/۵۱*G*	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
۵۹	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۸۱	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۸۱*R*	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۷۸	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۵۲	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
۴۷	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۶۷	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
۶۷*N*	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
۶۰	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓

معمولاً برای انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی در یک شبکه، با توجه به عناصر، تجهیزات و توپولوژی شبکه، به داده‌هایی نیاز است که با توجه به نوع، تعداد و محل تجهیزات در شبکه متفاوت می‌باشند. با توجه به اینکه پایه و اساس هماهنگی تجهیزات حفاظتی محاسبات اتصال کوتاه ، پخش بار و مطالعات پایداری گذرا می‌باشد در این بخش داده‌های مورد نیاز برای انجام محاسبات اتصال‌کوتاه و پخش بار ارائه می‌گردد.

۷-۳- نحوه تنظیم رله‌ها بمنظور حفاظت از شبکه مقابل خطای متقارن سه فاز

اگر به ترتیب خطاهای اعمال شده به شبکه از محل اتصال DG تا نقطه PCC را خطای F_1 تا F_n نامگذاری کنیم، در ابتدا به تنظیم رله‌ها اعم از اصلی در کمترین زمان ممکن و پشتیبان با در نظر گرفتن **$CTI <$ ۰/۴s (فاصله زمانی هماهنگی) $>$ ۰/۲۵s** برای خطای F_1 که همه رله‌ها درجهت مستقیم عمل می‌کنند، می‌پردازیم. جریان خطای عبوری از رله‌هایی که تا پیش از این نقش رله پشتیبان را داشتند،برای خطاهای بعدی بیشتر خواهد بود، به همین دلیل اگر عملکرد رله‌ها با رعایت فاصله زمانی هماهنگ نبود، از تنظیم تابع حفاظتی زمان معین در پله بعدی (یعنی برای جریان‌های بیشتر) رله اضافه جریان زمان معکوس در زمان مناسب استفاده می‌گردد، به عبارت دیگر این حالت در زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که فاصله زمانی هماهنگی رله نتواند ترتیب عملکرد به منظور تنظیم رله‌های پشتیبان برقرار کند و یا فاصله زمانی هماهنگی رعایت نشود، لذا با جابجا کردن عمودی منحنی رله، از تابع زمان معین رله (در زمان مناسب) در پله بعدی استفاده می‌کنیم.

رله‌ها در جهت معکوس به نحوی تنظیم می‌شوند که با رله‌ای که نقش اصلی را دارد و در جهت مستقیم تنظیم شده است، در یک زمان عمل نمایند. برای نقش پشتیبان رله‌ها، همانند رله‌های تنظیم شده در جهت مستقیم در صورت برقرار نبودن فاصله زمانی هماهنگی، تابع حفاظتی زمان معین رله اضافه جریان زمان معکوس برای پله‌های بعدی آن تنظیم می‌شود.

قابل ذکر است که ممکن است برای برقراری هماهنگی حفاظتی، به ناچار فاصله زمانی هماهنگی کمتر از ۰/۲۵ ثانیه تنظیم شود.

۷-۴- نحوه تنظیم رله‌ها به منظور حفاظت از شبکه در مقابل خطای نامتقارن یک فاز به زمین

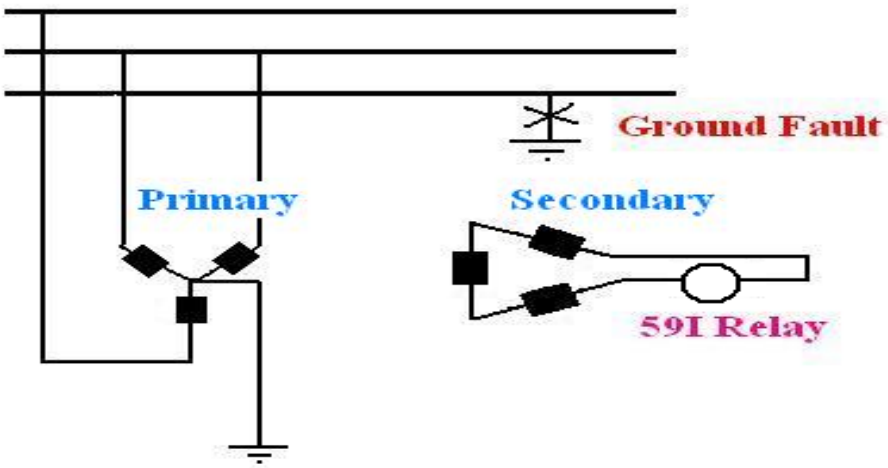
الف) برای تنظیم رله‌ی خطای زمین در سمتی که اتصال ترانسفورماتور ستاره زمین شده است (عموما سمت فشار ضعیف) و جریان خطای یک فاز به زمین برای رله قابل رویت است، می‌توان از شیوه بالا استفاده کرد. ولی لازم است اصول زیر برای تنظیم رله اضافه جریان اتصال زمین رعایت شود:

- جریان تحریک رله اضافه جریان اتصال زمین زمان معکوس روی ۸۰ تا ۱۰۰ درصد جریان نامی مدار حاصل از نتایج پخش بار تنظیم می‌شود. این جریان باید از حداقل جریان اتصال کوتاه فاز به زمین خط مجاور کمتر باشد.

- جریان تحریک رله اضافه جریان اتصال زمین زمان معین روی ۱/۵ برابر جریان نامی مدار حاصل از نتایج پخش بار تنظیم می شود. این مقدار باید بزرگتر از ماکزیمم جریان ناشی از نامتعادلی بار باشد. همچنین این مقدار باید بزرگتر از خطای ترانسفورماتور جریان ناشی از اشباع برای خطاهای سه فاز باشد. برای این منظور مقدار جریان تنظیمی را ۲۰ درصد بیشتر در نظر می گیرند.

ب) برای تنظیم رله‌ی خطای زمین در سمتی که اتصال ترانسفورماتور مثلث است (عموما سمت فشار متوسط) و جریان خطای یک فاز به زمین برای رله قابل رویت نیست، می‌توان از روش استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ استفاده نمود.

در این روش از سه ترانسفورماتور ولتاژ (PT) تکفاز که اولیه آنها به صورت ستاره زمین شده متصل می‌شود و ثانویه آن‌ها به صورت مثلث باز است، استفاده می‌شود. در گوشه باز مثلث یک رله ولتاژی (۵۹I) قرار می‌گیرد که در هنگام وقوع خطا به مدار هشدار دهنده فرمان می‌دهد.



شکل (۷-۱) : روش ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ

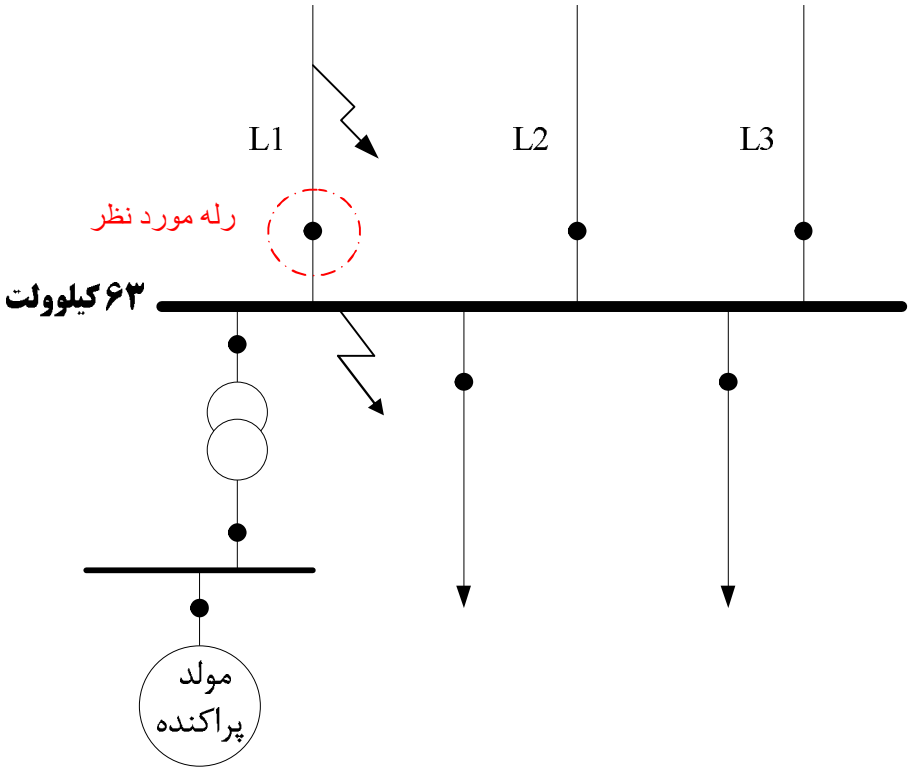
ج) در شبکه فوق توزیع که سیسم نوترال وجود ندارد، از ترانسفورماتور زمین استفاده می‌شود و جریان خطای یک فاز به زمین برای رله‌ها قابل رویت است، لذا می‌توان از رله های جریانی خطای زمین استفاده نمود.

موارد مطرح شده به عنوان راهنمای انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی در تمامی طراحی ارائه شده برای اتصال نیروگاه تولید پراکنده به شبکه می تواند مورد استفاده قرار گیرد. ولی خصوصیات و ویژگیهای طرح ۵ باعث می‌شود که در بحث هماهنگی حفاظتی ملاحظات بیشتری مد نظر قرار گیرد که در ادامه به آن پرداخته می شود.

در طرح ۵ بدلیل بالا بودن توان سیستم نیروگاه تولید پراکنده (کلاس ۵)، بعضاً لازم است سیستم مذکور به شبکه فوق توزیع متصل شود. در طرح های قبلی محل نصب DG تا شبکه بالا دست توسط چند سوئیچگیر، خط ویا کابل به هم متصل می شود و از طرفی بدلیل پائین بودن سطح توان DG (حداکثر ۷ مگاوات)، متناسب با آن سطح اتصال کوتاه تزریقی به شبکه نسبتاً کم خواهد بود، در صورتیکه در طرح ۵، منبع تولید پراکنده مستقیما به شبکه فوق توزیع متصل می‌شود و با توجه به توان DG جریان اتصال کوتاه تزریقی به شبکه زیادتر از طرح های قبلی خواهد شد. در نتیجه می توان گفت تاثیر پذیری شبکه از طرح ۵ بیشتر از دیگر طرح های ذکر شده می‌باشد. لذا اولین تاثیر آن در بحث حفاظت، امکان ایجاد عدم هماهنگی حفاظتی رله‌های جریانی است که در نتیجه آن بررسی ستینگ رله‌ها ضروری خواهد بود.

همچنین شبکه های فوق توزیع بیشتر دارای آرایش حلقوی می باشند و برای حفاظت جریانی آن‌ها اکثرا از رله های جهت دار استفاده می‌شود، لذا این موضوع نیز به اهمیت بیش از پیش بررسی هماهنگی حفاظتی رله های مجاور محل نصب DG در شبکه فوق توزیع دلالت دارد.

در صورت وجود یک سیستم نیروگاه تولید پراکنده با حداکثر توانMW ۲۵ مقدار جریان اتصال کوتاه تزریق شده از منبع تولید پراکنده به سمت شبکه فوق توزیع ۶۳ کیلوولت حدود ۴ کیلو آمپر می باشد. این مقدار جریان تزریقی می‌تواند هماهنگی رله‌های جریانی را از مخدوش نماید. برای درک بهتر موضوع به شکل(۷-۲) توجه نمایید.



شکل (۷-۲) : شبکه نمونه برای اتصال منبع تولید پراکنده با طرح ۵

جریان عبوری از رله مور نظر هنگامی که محل اتصال کوتاه پشت رله یا جلوی رله باشد متفاوت است

در شبکه نشان داده شده در شکل (۷-۲) با وجود یا عدم وجود سیستم نیروگاه تولید پراکنده در مدار، چنانچه یک اتصال کوتاه روی شینه ۶۳ kV رخ دهد تنظیم جریانی و نقش رله‌های خطوط L_1، L_2 و L_3 تغییر نخواهد کرد ولی چنانچه خطا در محل نشان داده شده روی خط L_1 اتفاق بیافتد تنظیم جریانی رله خط L_1 در صورت وجود یا عدم وجود DG متفاوت خواهد شد.

با کمی دقت مشخص می شود که اگر سیستم نیروگاه تولید پراکنده در مدار نباشد، جریان های اتصال کوتاه عبوری از رله واقع در خط L_1 از خطوط L_2 و L_3 به نقطه اتصال تزریق می‌شود ولی در صورتیکه سیستم نیروگاه تولید پراکنده در مدار باشد، جریان های اتصال کوتاه عبوری از رله خط L_1علاوه بر جریان خطوط L_2 و L_3 جریان اتصال کوتاه سهم DG را نیز شامل می‌شود که از نظر مقدار با حالت بدون DG متفاوت خواهد بود، همین استدلال برای وقوع خطا پشت رله‌های خطوط L_2 و L_3 نیز وجود دارد، لذا لازم است برای هماهنگی حفاظتی این مسئله مد نظر قرار گیرد.

در هر صورت تنظیمات هماهنگی حفاظتی باید طوری صورت گیرد که در هر دو حالت در مدار بودن یا در مدار نبودن منبع تولید پراکنده، اصول هماهنگی حفاظتی رعایت شده و نقش رله‌های اصلی و پشتیبان برای هر یک از خطاهای ممکن در شینه‌های نزدیک منبع تولید پراکنده مشخص بوده و فاصله زمانی عملکرد رله‌ها تعریف و مشخص شده باشد.

۷-۵- انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی به وسیله نرم‌افزار

جهت انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی نرم افزارهای متفاوتی با قابلیتهای مختلف قابل استفاده هستند. در این بخش برای هماهنگی با سایر بخش های این راهنما روش استفاده از نرم افزار DIGSILENT توضیح داده شده است.

استفاده از این نرم‌افزار جهت حل یک شبکهٔ توزیع شامل مراحل زیر می‌باشد:

۷-۵-۱- جمع‌آوری اطلاعات :

اطلاعات مورد نیاز برای انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی شبیه به مطالعات پخش بار و اتصال کوتاه است با این تفاوت که در این قسمت میبایست اطلاعات مربوط به رله‌های موجود و رله‌های جدید مورد نیاز را به ترتیب از شرکت برق مربوطه و شرکت سازنده دریافت شود.

۷-۵-۲- مدل‌سازی

اطلاعات جمع‌آوری شده از گام قبلی در این گام برای بدست آوردن مدل مطلوب شبکه و تجهیزات به کار می‌رود. در اکثر نرم‌افزارهای تجاری که در حال حاضر به‌منظور انجام مطالعات و تحلیل شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند، کاربر می‌تواند طرح تجهیزات و شبکه را به صورت شماتیک در نرم‌افزار رسم کند و بدین ترتیب یک مدل از شبکه را به صورت دیاگرام در اختیار داشته باشد.

در صورتی که امکان انجام مانور در فیدر محل اتصال مولد مقیاس کوچک وجود دارد، مطالعات باید به ازای مانورهای مختلف انجام شود.

در مطالعات هماهنگی حفاظتی نحوه مدل‌سازی اجزای مختلف شبکه از قبیل ژنراتور، ترانسفورماتور، کابل شبیه به مطالعات اتصال کوتاه و پخش بار است زیرا در مطالعات هماهنگی حفاظتی جریان نامی عبوری از خطوط و کلیدها و هم‌چنین جریان اتصال کوتاه عبوری از تجهیزات مزبور مورد نیاز است و تنها تفاوت در مورد رله‌ها است لذا در این بخش به آن پرداخته می‌شود.

- **تعیین مکان رله‌ها**

همانطور که قبلا نیز ذکر شد نخستین گام در انجام تنظیمات حفاظتی، تنظیم رله های اضافه جریان است که شامل رله‌های اضافه جریان زیر است:

- رله DG.
- رله روی شینه LV و HV ترانسفورماتور واسط.
- رله ابتدای شاخه‌ی فرعی که همان نقطه اتصال مشترک است.
- رله روی شینه ۲۰ کیلو ولت پست فوق توزیع

به دلیل تزریق جریان از دو سمت (جریان تزریق شده از سمت واحد تولید پراکنده و جریان تزریق شده از سمت پست فوق توزیع) نیاز به تنظیم رله در مکان‌های ذکر شده در دو جهت هستیم.

- تعیین نقش و جهت رله‌ها

برای تمام خطاهای ممکن نقش رله‌ها به همراه جهت عملکرد آنها را باید مشخص کرد.

اولین رله‌هایی که در دو سمت خطا قرار می‌گیرند، رله‌های اصلی و رله‌هایی که پس از آن قرار می‌گیرند نقش رله‌های پشتیبان را خواهند داشت.

توجه: باید خطای روی هر شینه را دو خطا (پشت رله و جلوی رله) در نظر گرفت زیرا برای این دو خطا با اینکه جریان عبوری از رله‌ها یکسان است نقش و جهت عملکرد رله‌ها تغییر خواهد کرد.

با پیش فرض جهت مستقیم برای جریان تزریق شده از سمت پست فوق توزیع و جهت معکوس برای جریان تزریق شده از سمت DG جهت رله‌ها را مشخص می‌کنیم.

- تعیین CT

یکی دیگر از نکاتی که در هماهنگی حفاظتی باید رعایت شود انتخاب نوع و سایز CT می‌باشد. نوع CT که باید حتما حفاظتی باشد. استفاده از CT اندازه گیری به هیچ وجه توصیه نمی گردد.

همچنین جهت سایز CT باید ابتدا جریان عبوری و نامی مدار را از مطالعه پخش بار تعیین نمود سپس اولین رنج استاندارد بیشتر از جریان نامی را به عنوان اولیه CT انتخاب می‌شود. همچنین لازم است CT با ازای جریان اتصال کوتاه ماکزیمم مدار به اشباع نرود. برای تعیین ثانویه CT لازم است مشخصات تجهیز یا تجهیزاتی که باید در ثانویه آن قرار بگیرد مشخص گردد و سپس مقدار *Berden* نامی CT تعیین می گردد، در نتیجه می توان سایز ثانویه CT را تعیین نمود.

۷-۵-۳- ورود داده‌ها به نرم‌افزار و تنظیم پارامترها و شرایط اولیه

هر رله می‌تواند دارای توابع حفاظتی مختلفی باشد مانند :

- اضافه جریان زمان معکوس

- اضافه جریان آنی یا زمان معین

منحنی مشخصه عملکرد رله‌های اضافه جریان زمان معکوس با استفاده از رابطه‌ی کلی زیر توصیف می‌شود:

$$Tc = \frac{(k\beta)}{(\frac{I}{Im})^{\alpha} - ۱} \qquad (۱-۴)$$

I :جریان خطا

I_m : جریان تحریک

در رابطه فوق پارامتر های α و β ، شیب منحنی مشخصه را تعیین می کند، K ضریب تنظیم زمانی (TMS) است.

براساس مقادیر α و β منحنی قطع می‌تواند، شکل‌های مختلف داشته باشد. جدول ۷-۲ دسته بندی نوع منحنی برای مقادیر α و β را براساس استاندارد IEC نشان می‌دهد.

جدول (۷-۲) : ثابت های رله های اضافه جریان استاندارد۶۰۲۵۵ IEC

منحنی	α	β
معکوس استاندارد	**۰/۰۲**	**۰/۱۴**
بسیار معکوس	**۱**	**۱۳/۵**
فوق العاده معکوس	**۲**	**۸۰**

پروسه انتخاب تنظیمات رله به دو بخش تقسیم می‌شود:

- انتخاب جریان تحریک رله
- انتخاب زمان بهره‌برداری یا رفع خطا

جریان تحریک رله اضافه جریان زمان معکوس روی ۱.۲ تا ۲ برابر جریان نامی مدار حاصل از نتایج پخش بار تنظیم می شود.

تنظیم جریان تحریک رله اضافه جریان زمان معین از دو روش امکان پذیر است:

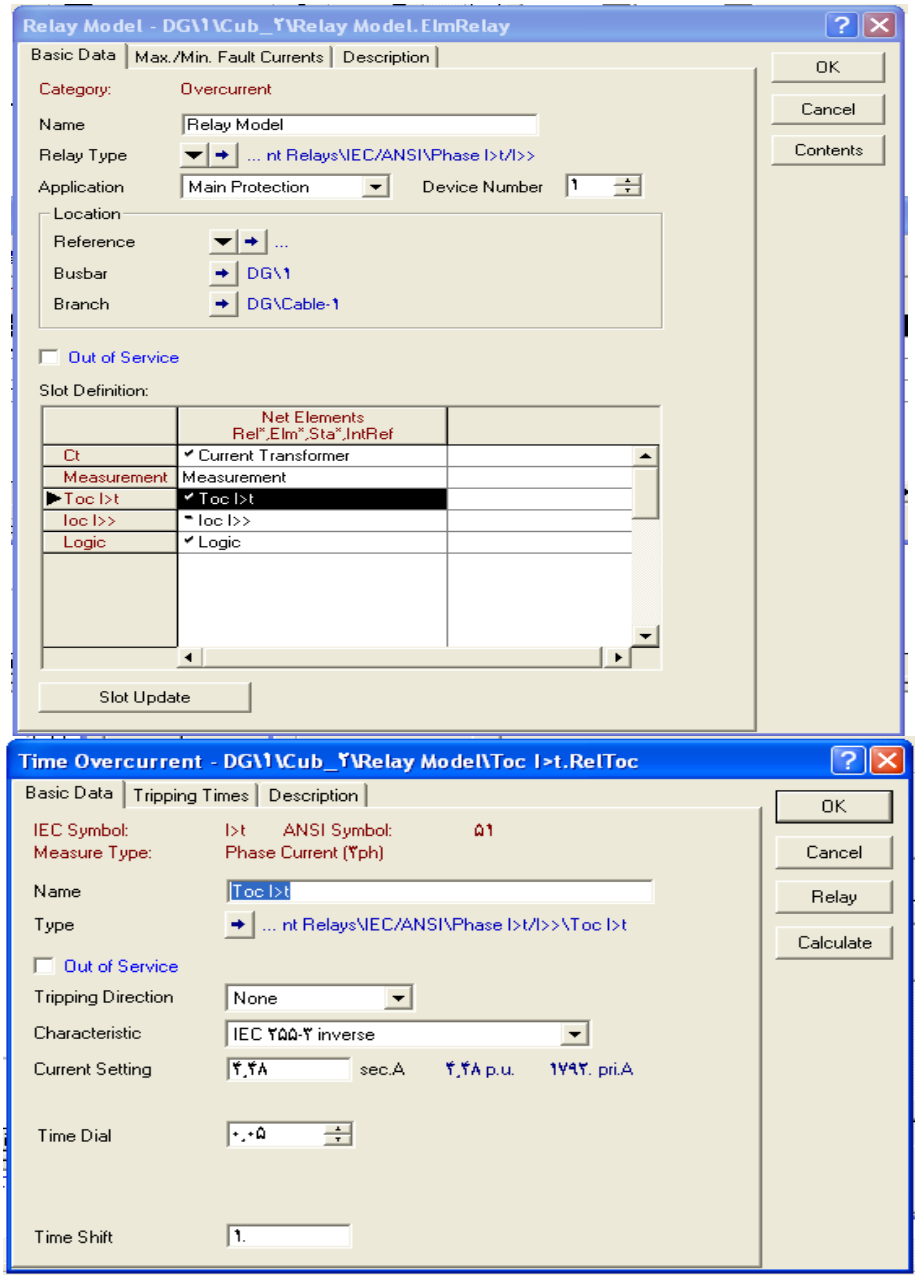
- ۶ تا ۱۰ برابر جریان ماکزیمم مدار (باید همه خطاهای موجود را ببیند)
- ۵۰ درصد خطای فاز به فاز انتهای خط، این مقدار باید از دو برابر جریان نامی مدار بیشتر باشد .

انتخاب زمان بهره‌برداری یا رفع خطا به دو عمل بستگی دارد.

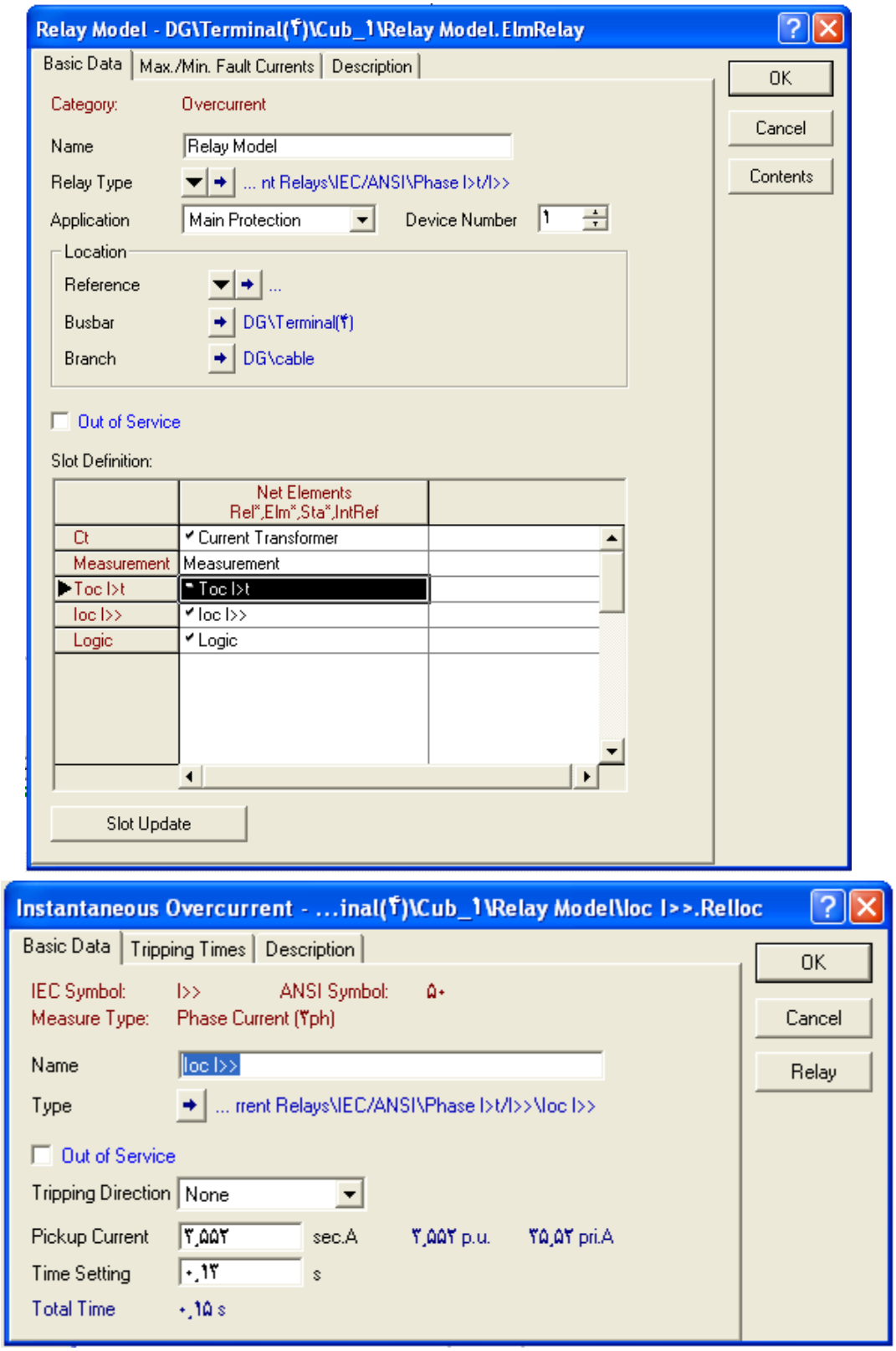
- موقعیت رله نسبت به خطا و منبع
- زمان بحرانی رفع خطا CCT حاصل از نتایج مطالعات پایداری گذرا

اگر رله نسبت به منبع دورترین رله باشد زمان بهره‌برداری روی کمترین مقدار تنظیم شود ولی باید در تنظیمات زمان رله مقدار CCT را نیز در نظر گرفت.

بطور مثال پروسه انتخاب تنظیمات یک رله اضافه جریان زمان معکوس و زمان معین در نرم افزار DIGSILENT به ترتیب در شکل‌های زیر آورده شده است.



شکل (۷-۳) : پروسه انتخاب تنظیمات یک رله اضافه جریان زمان معکوس



شکل (۷-۴) : پروسه انتخاب تنظیمات یک رله اضافه جریان زمان معکوس و زمان معین

۷-۵-۴- اجرای برنامه

بعد از مدلسازی شبکه و انجام تنظیمات مناسب در نرم‌افزار، بمنظور تحلیل شبکه برنامه اجرا می‌شود. در این مرحله چنانچه شبکه به درستی مدلسازی شده باشد و اطلاعات مربوط به تجهیزات و شبکه کامل و بی‌نقص در نرم‌افزار وارد شده باشند، نرم‌افزار، شبکه مدلسازی شده را تحلیل کرده و نتایج مورد درخواست کاربر را ارائه می‌نماید. در صورت بروز مشکل در حین اجرای برنامه، نرم‌افزار پیغام خطا می‌دهد که کاربر باید بعد از بررسی و رفع خطا، برنامه را دوباره اجرا نماید.

شایان ذکر است پس از مدلسازی شبکه و انجام محاسبات اتصال کوتاه و پخش بار، لازم است نتایج حاصله برای مطالعات بعدی (هماهنگی حفاظتی، پایداری گذرا، کیفیت توان) ذخیره گردد.

به منظور انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی در ذخیره سازی محاسبات اتصال‌کوتاه لازم است سهم واحد تولید پراکنده و شبکه در ماکزیمم جریان اتصال‌کوتاه در هر یک از محل‌های خطا به تفکیک محاسبه و ذخیره گردد.

۷-۵-۵- تحلیل نتایج

از آنجایی که ممکن است شبکه مورد نظر حالات مختلف مانوری و یا شامل تعداد DGهای زیادی باشد، عملکرد رله‌ها برای تمام حالات مختلف بررسی می‌شود، که در بیشتر موارد تنظیم رله‌ها همانطور که در بالا ذکر شد جوابگوی یک طرح حفاظتی صحیح برای حفاظت شبکه می‌باشد، اما اگر در برخی موارد وقوع خطا، بعضی از رله‌ها عملکرد مطلوبی نداشتند، مجددا به شیوه بالا به تنظیم رله‌ها با این تفاوت که فاصله زمانی را تغییر دهیم می‌پردازیم و یا تغییرات محدودی که مشکل هماهنگی را بهبود دهد. در مجموع شیوه ذکر شده اصول کلی هماهنگی حفاظتی شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده می‌باشد.

به طور کلی بعد از نصب مولدهای مقیاس کوچک موارد زیر باید مورد بررسی قرار گیرد:

۱- هماهنگی رله‌های اضافه جریان فاز از پایین‌ترین سطح یعنی ژنراتور، تا یک سطح ولتاژ بالاتر از نقطه اتصال DG به شبکه

۲- هماهنگی رله‌های اضافه جریان زمین

۳- هماهنگی رله‌های ولتاژی و فرکانسی در سطوح مختلف حفاظتی از ژنراتور تا یک سطح ولتاژ بالاتر از مکان اتصال DG به شبکه

۴- هماهنگی حفاظتی بین رله‌های حفاظتی خارج‌کننده DG از شبکه با ریکلوزرها (بازبست خودکار)

۵- هماهنگی سیستم انتقال تریپ با ریکلوزرها

۶- هماهنگی رله‌های مورد استفاده برای آشکارسازی جزیره ناخواسته در شبکه

۷- هماهنگی رله‌های مورد استفاده برای تشخیص وقوع خطای تکفاز به زمین در شبکه توسط DG

۸- هماهنگی حفاظتی رله‌های موجود در شبکه بعد از اتصال DG به شبکه تا یک سطح ولتاژ بالاتر از مکان اتصال DG به شبکه

۹- هماهنگی حفاظتی رله ها به ازای مانورهای ممکن (در صورتی که امکان انجام مانور در فیدرهای مختلف وجود دارد که اتصال DG به پست فوق توزیع را از چند مسیر ممکن می‌سازد)

۱۰- هماهنگی رله‌های جهت دار مورد استفاده در شبکه بعد از حضور مولدهای مقیاس کوچک در شبکه، به ازای خطاهای مختلف

در تمام موارد فوق فاصله زمانی هماهنگی بین رله‌های اصلی و پشتیبان می‌بایست در محدوده CTI < ۰/۴s (فاصله زمانی هماهنگی) > ۰/۲۵s قرار گیرد.

فصل هشتم

مطالعات سیستم زمین

۸-۱- مقدمه

وقوع خطای اتصال زمین در شبکه قدرت تأثیرات سوء بسیار زیادی بر تجهیزات شبکه، از جمله ترانسفورماتورها، ژنراتورها و سایر تجهیزات شبکه خواهد داشت. بنابراین، سیستم زمین باید به گونه‌ای طراحی شود که تا حد امکان جریان خطا را در مقادیر مجاز محدود کند و مانع از آسیب‌دیدن تجهیزات شود.

روش‌های مختلفی برای محدود کردن میزان جریان خطا در شبکه و تجهیزات وجود دارد که از آن جمله می‌تواند به استفاده از امپدانس در سیستم اتصال نقطه نوترال تجهیزات به زمین، اشاره نمود. تعیین نوع این امپدانس و مقدار دقیق آن یکی از مسائل مهم در طراحی سیستم زمین می باشد.

نوع اتصال ترانسفورماتور متصل‌کننده DG به شبکه و نحوه اتصال به زمین نقطه نوترال ژنراتور نیز از جمله فاکتورهای تأثیرگذار در میزان مشارکت منبع تولید پراکنده در جریان خطا بوده و تأثیر زیادی در مسائل فنی بهره‌برداری از شبکه مانند محدود کردن جریان‌ها و ولتاژهای هارمونیکی در شبکه خواهند داشت. سیستم زمین مراکز تولید پراکنده باید به نحوی طراحی و اجرا شود که تأثیر نامطلوبی بر شبکه توزیع نداشته باشد و بهره‌برداری از منبع تولید پراکنده در سناریوهای مختلف، چه به صورت مجزا از شبکه یا موازی با شبکه، تداخلی در سیستم حفاظتی و همچنین بهره‌برداری از شبکه توزیع ایجاد نکند.

۸-۲- هدف

هدف از انجام این مطالعات محدودکردن جریان خطای زمین با استفاده از یک سیستم زمین مناسب است که بتواند یک و یا چند مورد از موارد زیر را شامل گردد:

۱) کاهش خطرات ناشی از آتش سوزی و ذوب مواد در تجهیزاتی که خطا در آنها اتفاق افتاده باشد مانند جعبه کلیدها، ترانسفورماتورها، کابلها و نیز ماشینهای دوار.

۲) کاهش استرس های مکانیکی در مدارات حامل جریان.

۳) کاهش خطرات ناشی از شوک های الکتریکی برای پرسنل که بر اثر جریان های سرگردان ناشی از خطای زمین در مسیرهای برگشت اتفاق می افتد.

۴) کاهش خطرات ناشی از قوسهای الکتریکی و نیز خطرات ناشی از رعد و برق برای پرسنلی که ممکن است بصورت اتفاقی در کنار ادواتی قرار گرفته باشند که دچار خطای زمین شده باشند.

۵) برای کاهش افت ولتاژهای گذرا که بر اثر وقوع خطا و رفع آن اتفاق می افتد.

۶) برای کنترل ایمن اضافه ولتاژهای گذرا در زمانی که خطای امپدانس بالا اتفاق افتاده باشد و امکان بهره برداری از شبکه در حین وقوع خطا وجود داشته باشد.

۸-۳- انجام مطالعات سیستم زمین جهت اتصال DG به شبکه توزیع با توجه به طرحهای مختلف اتصال

در طراحی سیستم زمین و انتخاب نحوه زمین کردن منابع تولید پراکنده، طراح همواره بایستی بین دو نکته بسیار مهم زیر یک تعامل و مصالحه ایجاد کند:

۱- نحوه زمین کردن منابع تولید پراکنده باید جریان خطا را به مقادیری محدود کند که باعث آسیب دیدن تجهیزات تولید پراکنده نشده و اضافه ولتاژهای ایجاد شده در اثر بروز خطا را به مقادیر مجاز محدود کند.

۲- نحوه زمین کردن منابع تولید پراکنده باید به گونه‌ای باشد که جریان خطا بیش از حد کاهش نیابد یا به عبارت دیگر جریان خطا به اندازه‌ای باشد که قابل شناسایی توسط تجهیزات حفاظتی باشد.

سیستم زمین طراحی شده برای منابع تولید پرکنده باید ویژگی‌های زیر را دارا باشد:

- نحوه زمین کردن DG نباید باعث اضافه ولتاژهایی بالاتر از مقادیر نامی تجهیزات متصل به شبکه توزیع گردد.
- نحوه زمین کردن DG نباید باعث فراتر رفتن حدود اضافه ولتاژهای موقت از حدود مجاز شود (۱۲۵٪ ولتاژ نامی سیستم، تحت شرایط خاص تا ۱۳۰٪ ولتاژ نامی)
- نحوه زمین کردن DG نباید باعث برهم خوردن هماهنگی حفاظتی تجهیزات آشکارساز خطای زمین سیستم توزیع گردد.

همچنین در صورتی که تأسیسات به صورت موازی و همزمان از بیش از یک منبع تغذیه می‌شوند (مثلاً برق شهری و مولدها و یا چندین مولد به صورت موازی)، سیستم زمین مرکز تولید پراکنده باید طوری طراحی شود که در صورت نیاز، هر یک از منابعی که می‌توانند مستقل از منابع دیگر کار کنند، اتصال زمین خود را حفظ کنند.

در انجام مطالعات سیستم زمین جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه توزیع چند فاکتور مهم که نقش اساسی در انتخاب نحوه زمین کردن مولدها دارند عبارتند از:

۱- نحوه اتصال ژنراتور تولید پراکنده به شبکه (ژنراتور به صورت مستقیم به شبکه متصل شده باشد یا از طریق ترانسفورماتور)

۲- نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور متصل‌کننده DG به شبکه

۳- امکان بهره‌برداری از دو یا چند ژنراتور به صورت موازی با هم و جدا از شبکه

۴- بهره‌برداری از ژنراتور به صورت موازی با شبکه

با توجه به دسته‌بندی سیستم‌های زمین در استاندارد IEC که در بخش ۱-۵-۶ آورده شده است تمام سیستم‌های زمین در طرح اتصال ۱ تا ۵ در دسته TT قرار می‌گیرند. زیرا در تمام این طرح‌ها، زمین الکتریکی ژنراتور و ترانسفورماتور آن مشترک بوده و بطور مستقیم (با امپدانس ناچیز) زمین می شوند اما زمین حفاظتی این سیستم‌ها مجزا می‌باشد یعنی برای زمین الکتریکی و زمین حفاظتی چاه ارت جداگانه تعبیه می شود.

در مورد سیستم زمین بارهای موجود در شبکه توزیع می‌بایست مطابق استاندارد شبکه توزیع عمل گردد.

هر کدام از این فاکتورها نقش بسزایی در طراحی و بهره‌برداری از سیستم زمین منابع تولید پراکنده دارند و طراح سیستم زمین باید با توجه به نحوه اتصال DG به شبکه و استراتژی بهره‌برداری از آن، سیستم زمین را طراحی کند.

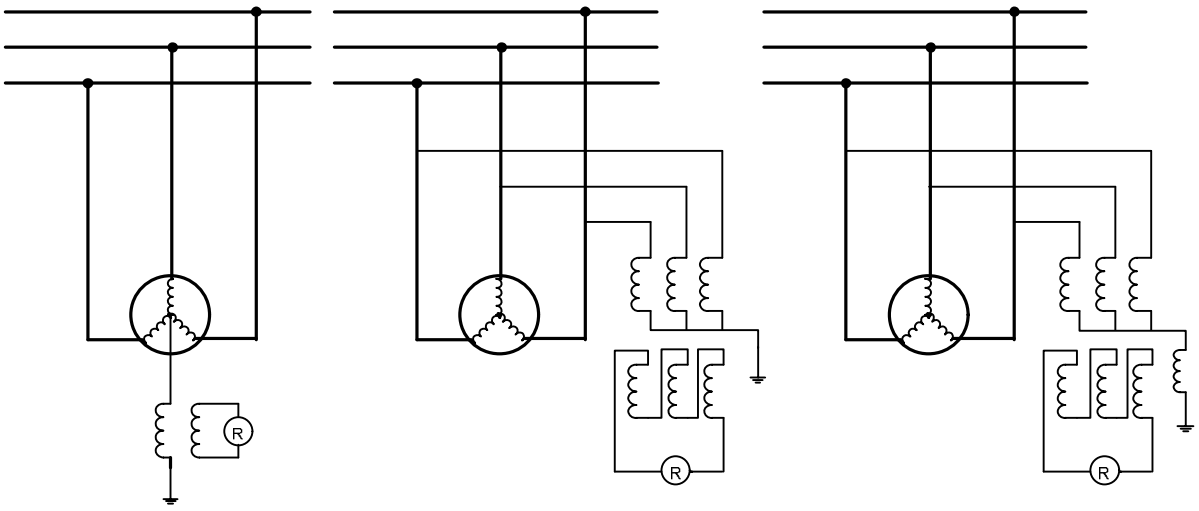
در قسمت بعد سیستم زمین تأسیسات تولید پراکنده برای طرحهای مختلف اتصال DG به شبکه و با توجه به استراتژی‌های مختلف بهره‌برداری از آن ارائه شده است.

۸-۳-۱- منابع تولید پراکندهٔ متصل شده به شبکهٔ توزیع از طریق طرح ۱ و ۲

- منبع تولید پراکنده به صورت تکی و جدا از شبکه

در این روش بهره‌برداری، منبع تولید پراکنده از شبکه توزیع قطع بوده و به عنوان تنها منبع تغذیه، بار محلی تأسیسات مورد نظر را تأمین می‌کند. در این حالت نقطه نوترال مولد به ترمینال زمین اصلی متصل شده و یا از طریق یک الکترود زمین به طور مستقل زمین می‌شود. در این طرح اتصال چون مصارف محلی که به منبع تولید پراکنده متصل هستندمی توانند از نوع مصارف تکفاز باشند جلوگیری از وقوع اضافه ولتاژ در هنگام بروز اتصال‌کوتاه‌های تکفاز به زمین از اهمیت زیادی برخوردار است.

حفاظت از ژنراتور در برابر خطاهای تکفاز حسب مورد به یکی از سه روش مذکور در شکل زیر می‌تواند انجام می‌شود.



الف ب ج

شکل (۸-۱): روشهای گوناگون آشکارسازی خطای زمین در نوترال ژنراتورهای تکی غیر موازی

الف) استفاده از یک ترانسفورماتور در نقطه صفر زنزاتور

ب) استفاده از سه ترانسفورماتور بصورت مثلث باز برای حفاظت ۹۵٪

ج) استفاده از سه ترانسفورماتور بصورت مثلث باز ب سیم پیچ اضافی برای حفاظت ۱۰۰٪

در شکل ۸-۱ طرح (الف)، یک ترانسفورماتور ولتاژ در اتصال نقطه نوترال به زمین مورد استفاده قرار گرفته است. وقوع خطا در هر بخش از مدار باعث تحریک رله و به صدا در آمدن آلارم خواهد شد.

در طرح (الف) باید امکان وجود هارمونیک‌های باقیمانده را در نظر گرفت و رله را برای مقادیر بالاتر از این ولتاژهای هارمونیکی تنظیم نمود. از طرفی اگر خطای اتصال زمین تکفاز در ۵٪ انتهایی سیم پیچ

استاتور اتفاق بیفتد این رله خطا را نمی بیند که همین امر باعث کاهش حساسیت عملکرد شده و لذا این طرح معمولاً حفاظت ۹۵٪ نامیده می‌شود.

در طرح (ب)، سه ترانسفورماتور ولتاژ که اولیه آنها به صورت ستاره به هم متصل شده، مورد استفاده قرار گرفته است. این طرح در مواردی استفاده می‌شود که مدار استاتور سیم نول نداشته باشد یعنی ترانسفورماتور متصل کننده مولد به شبکه، در سمت مولد دارای اتصال مثلث باشد.

میزان حساسیت طرح (ب) نسبت به طرح (الف) بیشتر است و همچنین اگر در اولیه ترانسفورماتورها یک مدار باز شود (قطعی فاز) رله عمل خواهد کرد.

هرچه نقطه وقوع خطا به نقطه نوترال مولد نزدیکتر باشد حساسیت طرح (الف) و طرح(ب)، بیشتر کاهش می‌یابد.

طرح (ج) برای ایجاد یک حفاظت کامل در هر نقطه‌ای از سیم‌پیچی پیشنهاد شده است. در این طرح یک سیم‌پیچ کمکی در یکی از ترانسفورماتورهای ولتاژ قرار داده می‌شود. در اینصورت چنانچه خطای تکفاز هرچند در ۵٪ انتهای یکی از سیم پیچهای استاتور رخ دهد نقطه صفر اولیه PT ها دارای ولتاژ شده و از سیم پیچ اضافه شده جریان عبور می کند و در ثانویه PT مربوطه ولتاژی القا می کند که سبب خارج شدن جمع ولتاژ در مثلث باز از ولتاژ صفر گردیده و رله مربوطه را تحریک می نماید.

شایان ذکر است موارد دیگری نیز مانند روش تزریق هارمونیک سوم یا تزریق سیگنالهای زیرهارمونیک برای حفاظت ۱۰۰٪ سیم پیچ استاتور پیشنهاد گردیده اند.

در مجموع می توان گفت که برای مولدهای مقیاس کوچک بسته به مورد از طرح (الف) یاطرح (ب) استفاده می گردد.

- دو یا چند منبع تولید پراکنده به صورت موازی و جدا از شبکه

در برخی موارد لازم است که دو یا چند مولد به صورت موازی با هم و جدا از شبکه، بارهای محلی تأسیسات مربوطه را تغذیه کنند. در صورت عملکرد موازی چند مولد به خصوص هنگامی که تعداد مولدها زیاد باشد چنانچه همه مولدها به طور مستقیم زمین شوند، به دلیل اینکه در اکثر موارد راکتانس مؤلفه صفر ژنراتورها در مقایسه با راکتانس مؤلفه مثبت و منفی آن کمتر است، جریان خطای فاز به زمین از جریان خطای سه‌فاز بیشتر خواهد بود و این جریان بایستی به نوعی محدود شود. اگر در مولدها ولتاژ و جریان هارمونیکی گردشی وجود نداشته باشد (در اثر همسان بودن ژنراتورها و یا بارگیری متعادل از مولدها) می‌توان نقطه نوترال تک‌تک مولدها را به طور جداگانه به نحو مناسبی زمین نمود. اما اگر به هر

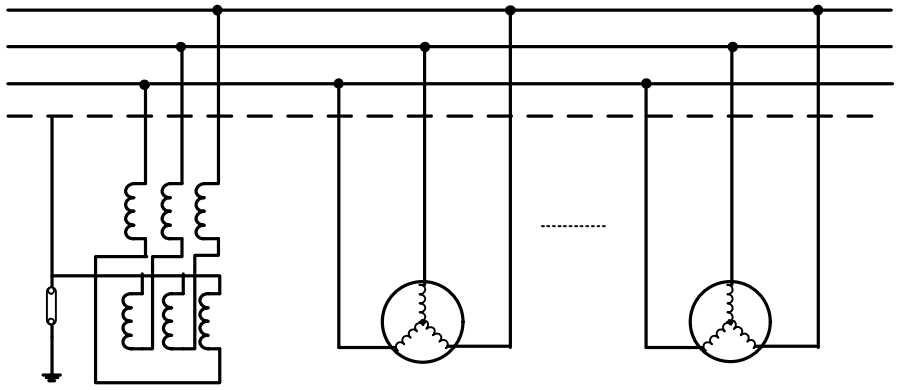
دلیل ولتاژ و جریان هارمونیکی گردشی مرتبه سوم و مضارب آن بین مولدها وجود داشته باشد سیستم زمین باید به گونه‌ای طراحی شود که علاوه بر فراهم نمودن شرایط مناسب جهت عملکرد صحیح تجهیزات و محدود شدن جریان خطا در مقادیر مجاز، از به وجود آمدن جریان‌ها و ولتاژهای هارمونیکی گردشی در شرایط کار عادی مولدها نیز جلوگیری کند. در چنین شرایطی، از یکی از روشهای زیر می‌توان استفاده نمود:

۱- استفاده از مولدهایی که دارای سیم‌پیچی با گام $\frac{۲}{۳}$ هستند تا از به وجود آمدن ولتاژها و جریان‌های هارمونیکی گردشی مرتبه سوم جلوگیری گردد. در این صورت، روش زمین کردن مولدها شبیه مولدهای تکی می‌باشد و هر یک از مولدها به طور جداگانه به نحو مناسبی زمین می‌شود.

۲- در هنگام کارکرد موازی چند مولد، فقط نقطه نوترال یکی از ژنراتورها به زمین متصل شود. البته این روش دارای پیچیدگی‌های خاص خود می‌باشد. در این روش جریان خطای تکفاز به زمین کل کاهش می‌یابد اما جریان خطای عبوری از مولدی که زمین شده است به نحو چشمگیری (با افزایش تعداد مولدها) افزایش می‌یابد بنابراین، باید نقطه خنثی مولد با استفاده از یک امپدانس مناسب زمین شود تا جریان خطای زمین تا حد جریان خطای سه‌فاز محدود شود و از آسیب دیدن مولدی که زمین شده است جلوگیری گردد. همچنین باید اینترلاک‌های الکتریکی و مکانیکی لازم طوری پیش‌بینی شود که در هر زمان تنها نقطه نوترال یک مولد به زمین متصل شود و در صورت نیاز به خاموش شدن مولد زمین شده و قبل از خاموش شدن آن، نقطه نوترال یک مولد دیگر با استفاده از یک امپدانس مناسب به زمین متصل شود. استفاده از این روش باعث حذف ولتاژها و جریانهای هارمونیکی مرتبه سوم خواهد شد.

۳- استفاده از ترانسفورماتور زمین بین فازها و زمین در حالیکه مولدها به صورت سه سیمه به شینه‌ها متصل می‌شوند که در شکل ۸-۲ نشان داده شده است (البته به دلیل ظرفیت کم مولدها این روش معمولاً مقرون به صرفه و عملی نیست.)

۴- استفاده از روشهای تضعیف جریان‌های فرکانس بالا (امپدانس های سلفی) در نقطه خنثی هر مولد به طوریکه در فرکانس عادی امپدانس قابل توجهی از خود نشان ندهد.



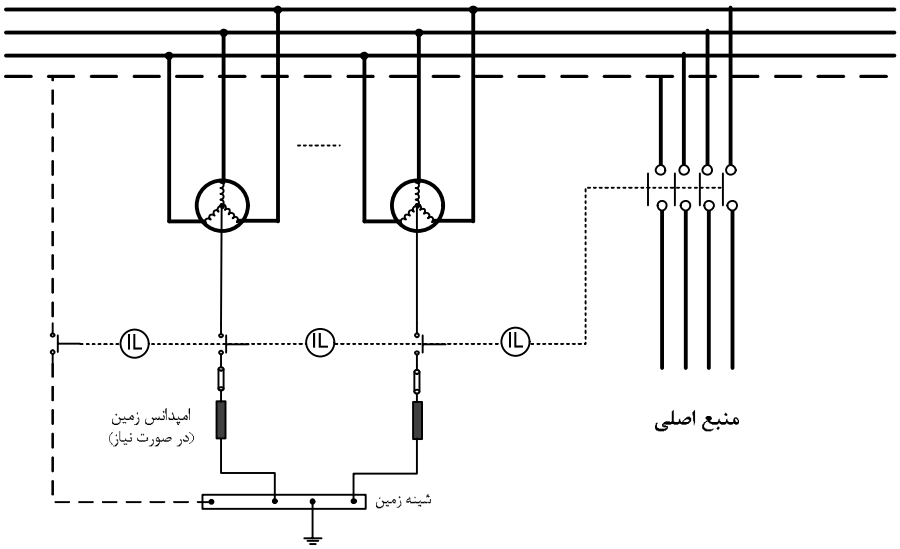
شکل (۸-۲): یک یا چند مولد موازی با ترانسفورماتور اتصال زمین

- **دو یا چند مولد که قابلیت کار موازی با شبکه را دارند.**

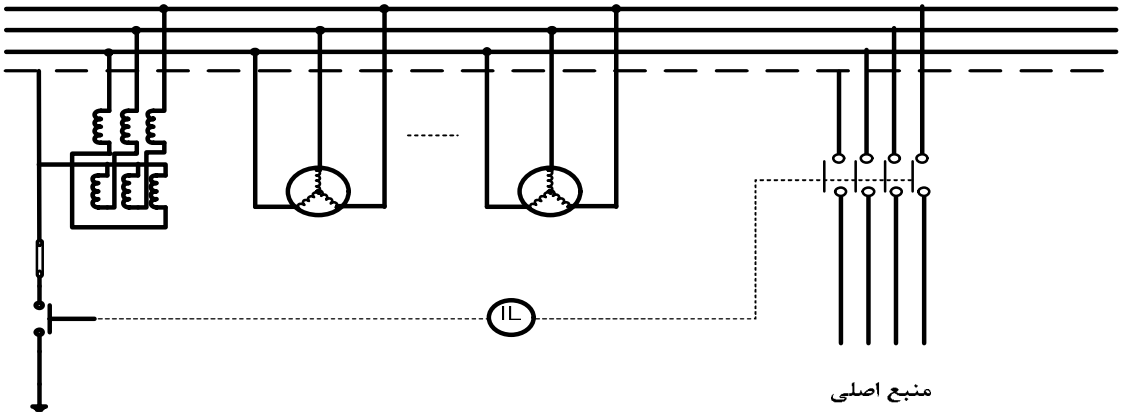
در مواردی که دو یا چند منبع تولید پراکنده به صورت همزمان و موازی با شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، مشکلات مربوط به ولتاژها و جریان‌های هارمونیکی گردشی مرتبه سوم بین مولدهای موازی شده با یکدیگر و بین مولدها با شبکه، مشابه آنچه برای مولدهای موازی شرح داده شد وجود خواهد داشت. در این حالت هماهنگی بین سیستم زمین منابع تولید پراکنده با سیستم زمین شبکه توزیع بیشترین اهمیت را دارد و سیستم زمین باید طوری طراحی شود که عملکرد مناسب تجهیزات منابع تولید پراکنده را فراهم کرده و از به وجود آمدن جریانهای هارمونیک سوم گردشی بین مولدها و شبکه جلوگیری کند. در این حالت نیز برای زمین کردن نقطه نوترال مولدها از روشهای زیر می‌توان استفاده نمود:

۱- در هنگام کارکرد موازی چند مولد با شبکه، چون احتمال وجود هارمونیک‌های گردشی مرتبه سوم وجود دارد نقطه نوترال همه مولدها توسط سکسیونر زمین از سیستم زمین جدا می‌شود. برای این منظور باید اینترلاک‌های لازم در نظر گرفته شود به نحوی که در زمان کار موازی با شبکه سکسیونرهای زمین تمام مولدها باز بوده و در زمان قطع منبع اصلی، فقط سکسیونر یکی از مولدها بسته شود در این شرایط، بهره‌برداری شبیه حالت مولدهای موازی جدا از شبکه خواهد بود (شکل ۴-۵). جهت تغذیه بارهای تکفاز محلی در هنگام قطع مولدها از شبکه و قطع نوترال شبکه، بایستی نوترال سیستم تغذیه بارهای محلی به شینه زمین متصل گردد.

۲- استفاده از ترانسفورماتور زمین بین فازها و زمین در حالیکه مولدها به صورت سه سیمه به شینه‌ها متصل می‌شوند. در این حالت نیز بین سکسیونر زمین ترانسفوماتور زمین و کلید تغذیه منبع اصلی اینترلاک وجود خواهد داشت. البته چون قدرت DG پایین است استفاده از این طرح مقرون به صرفه نمی‌باشد(شکل ۸-۴).



شکل (۸-۳): اتصال زمین دو یا چند مولد با قابلیت کار موازی با شبکه



شکل (۸-۴): زمین کردن منابع تولید پراکنده که قابلیت کار موازی با شبکه را دارند به همراه ترانسفورماتور زمین

۸-۳-۲- منابع تولید پراکندهٔ متصل شده به شبکهٔ توزیع از طریق طرح ۳ و ۴ و ۵

- منبع تولید پراکنده به صورت تکی و جدا از شبکه

در این روش بهره‌برداری، منبع تولید پراکنده از شبکه قطع می‌باشد و به عنوان تنها منبع تغذیه، بار محلی تأسیسات مورد نظر را تأمین می‌کند. در این حالت، برای بررسی شیوه زمین کردن منبع تولید پراکنده دو نوع اتصال مختلف برای ترانسفورماتور متصل‌کننده مولد به شبکه در نظر گرفته می‌شود.

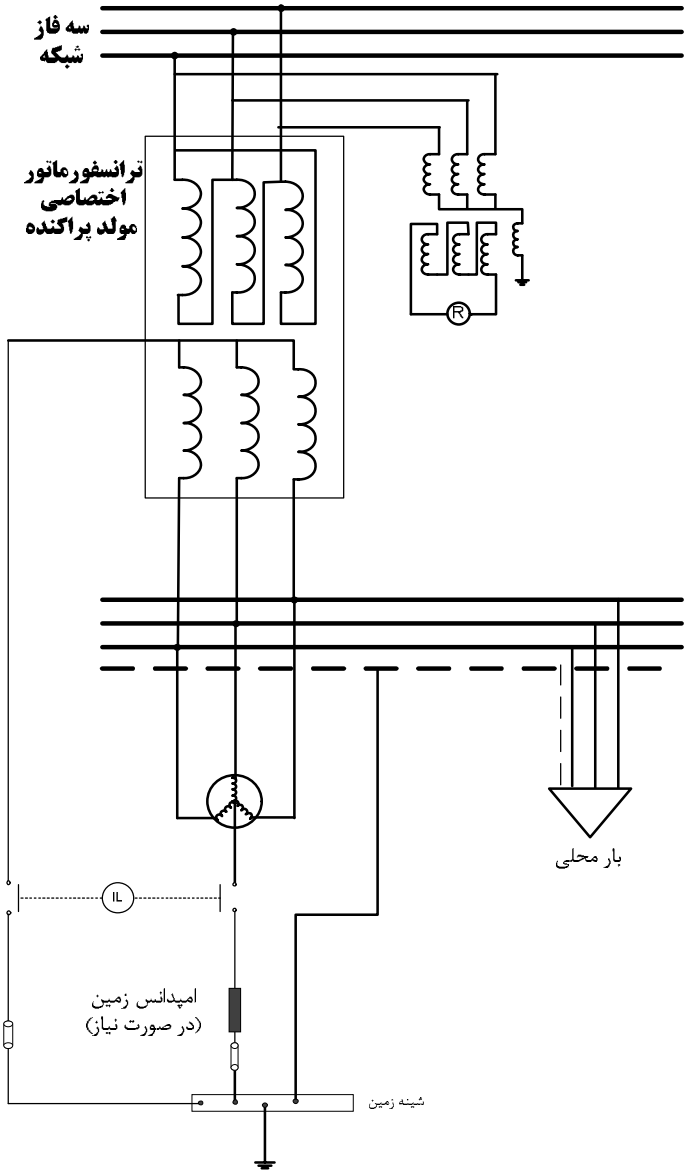
*** اتصال مثلث-ستاره زمین‌شده (Dyn)**

ترانسفورماتورهای مورد استفاده در شبکه توزیع ایران معمولاً دارای اتصال مثلث-ستاره زمین‌شده Dyn۵ هستند. بنابراین، برای زمین کردن یک مولد تکی که به صورت ایزوله از شبکه بار محلی را تأمین می‌کند

مطابق شکل ۸-۵ عمل می‌شود. نحوه زمین کردن مولد (مستقیم یا از طریق امپدانس) بستگی به پارامترهای سیستم و توصیه سازنده مولد خواهد داشت.

مسائل مربوط به طرح‌های حفاظت زمین ترانسفورماتور و مولد در گزارش "محدوده، شرایط و نیازمندیهای هماهنگی حفاظتی" ارائه خواهد شد.

در صورت استفاده از ترانسفورماتورهای مثلث-ستاره زمین‌شده، چنانچه خطا در سمت فشار متوسط (۱۱ ، ۲۰ و یا ۳۳ کیلوولت سمت شبکه) ترانسفورماتور اتفاق بیفتد چون سمت فشار متوسط ترانسفورماتور دارای سیم‌پیچ مثلث است ولتاژ فازهای سالم تا ۱/۷۳برابر ولتاژ فاز افزایش خواهد یافت که این امر باعث آسیب‌دیدن تجهیزات تکفازی که بین فازهای سالم و نوترال قرار گرفته‌اند، خواهد شد. بنابراین، در سمت اولیه ترانسفورماتور (سمت مثلث) جهت تشخیص وقوع خطای تکفاز به زمین، از سه ترانسفورماتور ولتاژ که اولیه آنها به صورت ستاره زمین‌شده و ثانویه آن مثلث باز است (که توسط رله ولتاژی بسته می‌شود) مطابق شکل ۸-۵ استفاده شده است تا در صورت بروز اتصال‌کوتاه تکفاز به زمین در سمت اولیه رله تحریک شده و آلارم مربوطه را به صدا در آورد. همچنین چون ولتاژها و جریان‌های هارمونیک سوم تولیدی توسط ژنراتور در اتصال ستاره زمین شده ترانسفورماتور که در سمت ژنراتور قرار گرفته است، با هم جمع می‌شوند، چنانچه ژنراتور مقادیر زیادی ولتاژ و جریان هارمونیک سوم تولید کند این امر باعث خواهد شد عملکرد سیستم حفاظت زمین ژنراتور و ترانسفورماتور با مشکل مواجه شده و حساسیت سیستم حفاظتی کاهش یابد (مگر اینکه از ژنراتورهای با گام $\frac{۲}{۳}$ استفاده شود که در این صورت ژنراتور هارمونیک سوم تولید نخواهد کرد). البته استفاده از امپدانس جهت زمین کردن مولد و ترانسفورماتور تا حدی مشکل جریان‌ها و ولتاژهای هارمونیکی را حل می‌کند اما باعث ایجاد اضافه ولتاژهای گذرا در هنگام وقوع اتصال‌کوتاه‌های تکفاز به زمین خواهد شد. در صورت وقوع اتصال‌کوتاه تکفاز به زمین در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور، به علت تأمین شدن جریان مؤلفه صفر از سمت مولد و ترانسفورماتور، شدت جریان اتصال‌کوتاه نسبت به حالتی که سمت فشارضعیف ترانسفورماتور زمین نشده باشد بسیار بیشتر خواهد بود که این امر لزوم استفاده از تجهیزات با قدرت عایقی بالاتر را به دنبال خواهد داشت. بنابراین، توصیه می‌شود بمنظور جلوگیری از مشکلات ذکر شده فوق و در صورت زیاد بودن میزان هارمونیک‌های تولیدی توسط ژنراتور، تنها نقطه نوترال ژنراتور زمین شود و نقطه نوترال ترانسفورماتور باز باشد.



شکل (۸- ۵) : اتصال زمین منبع تولید پراکنده تکی ایزوله با ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین شده

البته در صورت استفاده از شبکه کابلی در سمت فشار متوسط و استفاده از ترانسفورماتورهای مثلث-ستاره زمین شده احتمال به وجود آمدن فرورزنانس در شبکه بسیار زیاد خواهد بود. بنابراین قبل از اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه بایستی احتمال ایجاد فرورزنانس (مخصوصاً در شبکه‌های کابلی) به دقت مورد بررسی قرار گیرد. بمنظور جلوگیری از این پدیده موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

- حتی الامکان از شبکه کابلی در اتصال ژنراتور و ترانسفورماتور به شبکه استفاده نشود.
- از رله ۵۹I استفاده شود که مقدار پیک اضافه ولتاژ را مورد استفاده قرار می‌دهد.
- استفاده از ترانسفورماتور YNd احتمال رخ داد فرورزنانس را کاهش می‌دهد.

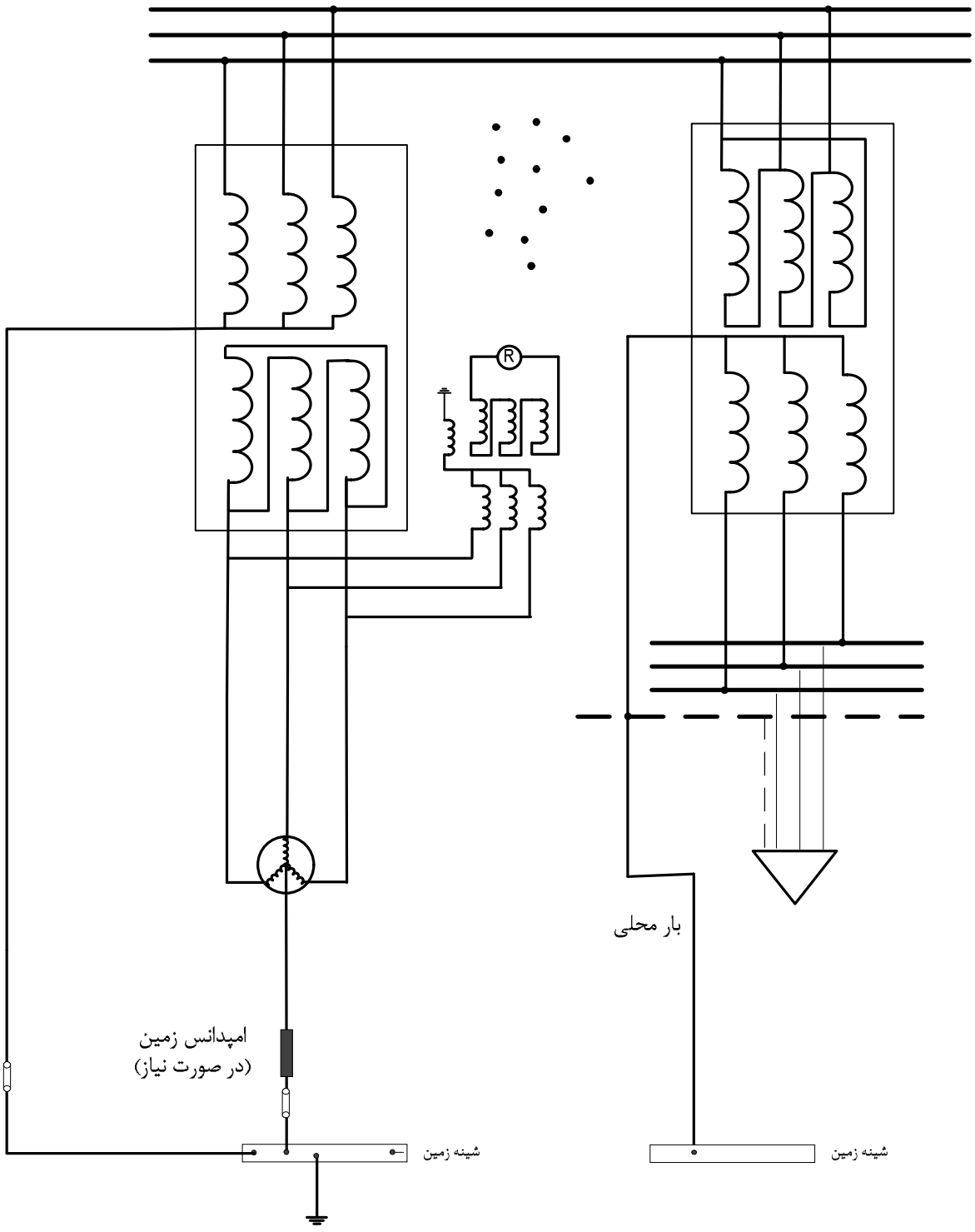
از آنجایی که بحث استفاده از تولید پراکنده در شبکه توزیع ایران یک بحث کاملاً جدید است و تا کنون ترانسفورماتورهای که توسط شرکت ایران ترانسفو برای شبکه توزیع ساخته می‌شدند دارای اتصال مثلث ستاره زمین شده هستند که برای تغذیه بارها مورد استفاده قرار می‌گرفتند، توصیه می‌شود با توجه به مشکلات استفاده از این نوع ترانسفورماتورها جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه، جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه از ترانسفورماتورهایی با اتصال ستاره زمین‌شده-مثلث استفاده شود.

*** ستاره زمین شده-مثلث (YNd)**

در این حالت نیز منبع تولید پراکنده تنها منبع تغذیه بار محلی تأسیسات مورد نظر می‌باشد و به تنهایی و جدا از شبکه این بار را تامین می‌کند. برای اتصال مولد به شبکه از ترانسفورماتور ستاره-زمین‌شده- مثلث استفاده شده است. در این حالت، برای زمین کردن مولد و ترانسفورماتور می‌توان همانند شکل ۸-۶ عمل کرد. نوع زمین کردن مولد (مستقیم یا از طریق امپدانس) بستگی به پارامترهای سیستم و توصیه سازنده مولد خواهد داشت.

در صورت استفاده از ترانسفورماتور ستاره‌زمین‌شده-مثلث، ولتاژها و جریان‌های هارمونیک سوم به واسطه وجود سیم‌پیچ مثلث در سمت ژنراتور مشکلی برای عملکرد سیستم حفاظت زمین ژنراتور ایجاد نخواهند کرد و عملکرد ژنراتور را تحت تأثیر قرار نخواهند داد. همچنین در صورت وقوع خطای تکفاز در سمت فشار ضعیف جریان مؤلفه صفر تنها از سمت ژنراتور تأمین می‌شود و بنابراین، نسبت به حالت قبل مقدار جریان خطا کمتر خواهد بود.

بمنظور تشخیص وقوع خطای تکفاز در سمت فشارضعیف از سه ترانسفورماتور ولتاژ همانند شکل ۸-۶ استفاده شده است که در صورت بروز هر گونه خطا در سمت فشارضعیف، رله تحریک شده و آلارم مورد نظر را فعال می‌کند اما، چون این ترانسفورماتورهای ولتاژ در سمت فشار ضعیف استفاده می‌شوند نسبت به حالت قبل (استفاده از ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین شده) که در سمت فشار متوسط استفاده می‌شدند، هزینه کمتری در بر خواهد داشت.



شکل (۸-۶) : اتصال زمین منبع تولید پراکنده تکی ایزوله با ترانسفورماتور ستاره زمین شده- مثلث

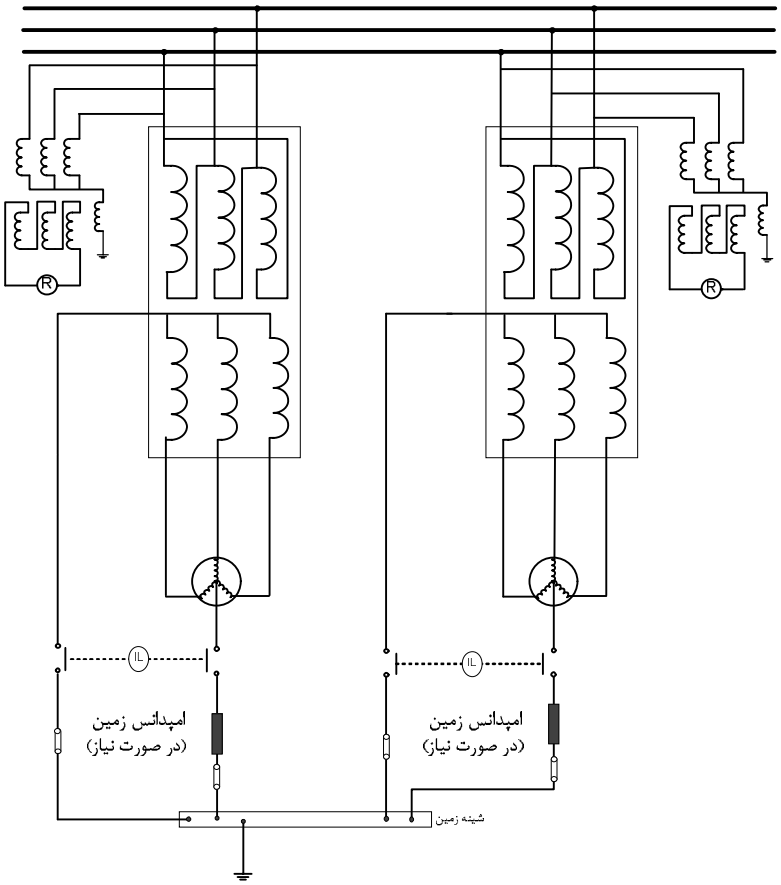
- دو یا چند منبع تولید پراکنده به صورت موازی و جدا از شبکه

در بعضی از موارد لازم است که دو یا چند مولد به صورت موازی و جدای از شبکه کار کنند و تأسیسات مربوط به منبع تولید پراکنده را تغذیه کنند. نحوه زمین کردن و ملاحظات سیستم زمین با

توجه به نوع ترانسفورماتور متصل‌کننده مولدها بـه شـبکه متفـاوت خواهـد بـود. در ایـن قسـمت دو نـوع ترانسفورماتوری که جهت اتصال مولدها به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند مورد بررسـی قـرار گرفتـه و نحوه زمین کردن و ملاحظات سیستم زمین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

*** اتصال مثلث- ستاره زمین‌شده (Dyn)**

در این طرح دو یا چند منبع تولید پراکنده توسط ترانسفورماتورهای مثلث-ستاره‌زمین شده بـه یـک شینه متصل می‌شوند.



شکل (۸-۷) : دو یا چند منبع تولید پراکنده به صورت موازی و جدا از شبکه دارای ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین‌شده

تمام مطالبی که در مورد مولد تکی ایزوله که با استفاده از ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین‌شـده بـار تأسیسات مورد نظر را تأمین می‌کند ارائه شـد، در مـورد مولـدهای مـوازی نیـز صـادق اسـت. در صـورت بهره‌برداری موازی از چند مولد همانند شکل (۸-۷)، چنانچه هم نقطه نوترال مولدها و هـم نقطـه نـوترال سیم‌پیچ فشارضعیف ترانسفورماتورها به زمین متصل شود، جریان‌های هارمونیکی مرتبه سـوم کـه توسـط مولدها تولید می‌شود و با هم همفاز هستند در نقطه نوترال سیم‌پـیچ سـتاره ترانسـفورماتور بـا هـم جمـع

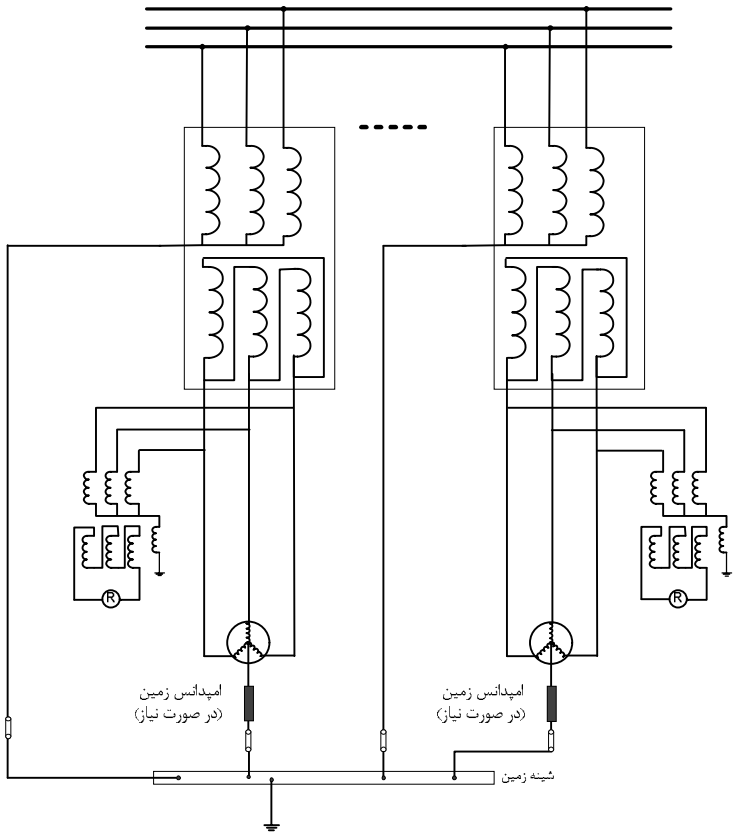
می‌شوند که این امر باعث کاهش حساسیت سیستم حفاظت خطای زمین ترانسفورماتور خواهد شد و در مواردی که این جریان‌های هارمونیکی دامنه زیادی داشته باشند عملکرد اشتباه و نامناسب سیستم حفاظتی را در پی خواهند داشت. همچنین امکان ایجاد جریان‌های هارمونیک سوم گردشی در سمت فشار ضعیف نیز وجود خواهد داشت. بنابراین، یا باید با روشی مشکل جریان‌ها و ولتاژهای هارمونیکی را حل نمود (استفاده از ژنراتورهای با سیم‌پیچی دارای گام $\frac{۲}{۳}$ که در این صورت نیازی به استفاده از اینترلاک بین نقطه نوترال ژنراتور و ترانسفورماتور نیست اما در صورت وصل بودن همزمان نقطه نوترال ترانسفورماتور و ژنراتور سطح اتصال کوتاه افزایش می‌یابد که در انتخاب تجهیزات باید مد نظر قرار گیرد) یا اینکه نقطه نوترال ترانسفورماتور در هنگام بهره‌برداری قطع باشد (همانند شکل ۸-۷) و فقط نقطه نوترال ژنراتور به زمین متصل باشد و یا از ترانسفورماتورهای با اتصال ستاره‌زمین‌شده-مثلث استفاده شود.

*** اتصال ستاره زمین‌شده- مثلث (YNd)**

در این طرح، همانطور که از شکل (۸-۸) کاملاً مشهود است سمت مثلث ترانسفورماتور به مولد متصل می‌شود و مولدها به صورت موازی بار محلی را تغذیه می‌کنند. نوع زمین کردن مولد (مستقیم یا از طریق امپدانس) بستگی به پارامترهای سیستم و توصیه سازنده مولد خواهد داشت.

تمام مطالبی که در مورد مولد تکی ایزوله که با استفاده از ترانسفورماتور ستاره زمین‌شده- مثلث بار محلی را تأمین می‌کنند، عنوان شد در مورد مولدهای موازی نیز صادق است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که وجود سیم‌پیچ مثلث در سمت فشارضعیف ترانسفورماتور، از جاری شدن جریان‌های هارمونیک سوم در سمت فشارضعیف جلوگیری می‌کند و بر خلاف ترانسفورماتورهای مثلث-ستاره زمین شده که در شبکه رایج هستند دیگر از این لحاظ اختلالی در عملکرد تجهیزات ایجاد نمی‌کنند.

استفاده از ترانسفورماتورهای مثلث-ستاره زمین شده در ایران این ویژگی را دارد که چون اغلب ترانسفورماتورهایی که برای شبکه توزیع طراحی و ساخته می‌شوند برای تغذیه بارهای شبکه می‌باشند اکثراً دارای اتصال مثلث-ستاره زمین شده هستند بنابراین در دسترس هستند ولی همانطور که اشاره شد مشکلاتی را برای بهره‌برداری ایجاد می‌کنند. اما در صورت استفاده از ترانسفورماتورهای ستاره‌زمین‌شده-مثلث دیگر مشکلات جریانهای هارمونیکی و جاری شدن آنها در سمت فشارضعیف و وقوع فرورزنانس در شبکه که نکته بسیار مهمی برای عملکرد مناسب تجهیزات بشمار می‌آید وجود نخواهد داشت.



شکل (۸-۸) : دو یا چند منبع تولید پراکنده به صورت موازی و جدا از شبکه دارای ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین‌شده

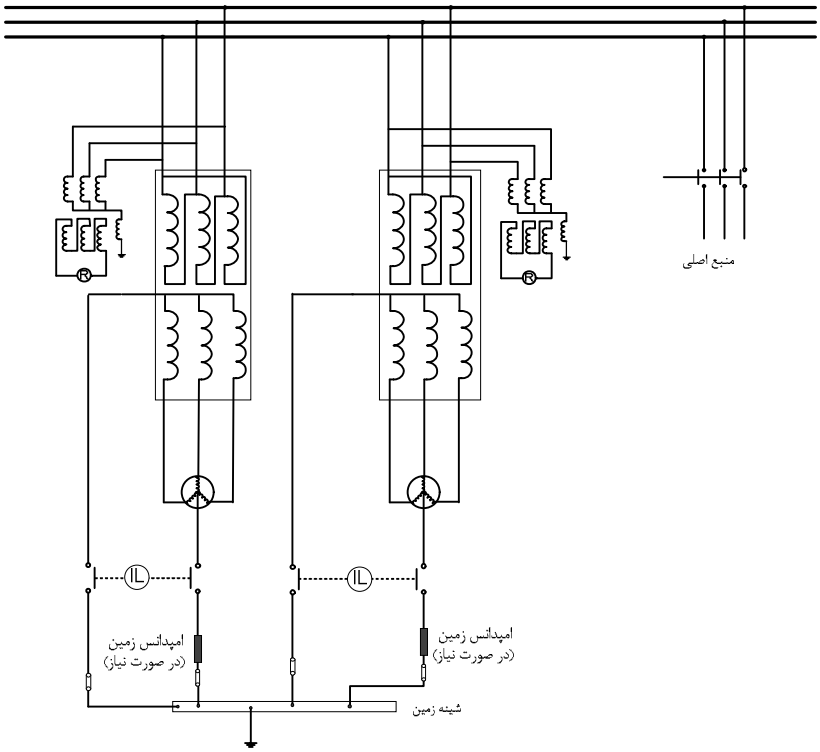
- دو یا چند مولد که قابلیت کار موازی با شبکه را دارند

در اکثر مواقع دو یا چند منبع تولید پراکنده به صورت همزمان و موازی با شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. به منظور بررسی نحوه زمین کردن و شرایط و نیازمندیهای مطالعات سیستم زمین در حالت کار موازی منابع تولید پراکنده با شبکه، دو نوع ترانسفورماتور متصل‌کننده زیر جهت اتصال مولدها به شبکه در نظر گرفته می‌شوند:

*** ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین‌شده (Dyn)**

در صورت استفاده از این ترانسفورماتور، همانطور که در شکل ۸-۹ نشان داده شده است سیم‌پیچی ستاره زمین‌شده آن به مولد و سیم‌پیچی مثلث به شبکه متصل می‌شود. تمام مطالبی که در مورد مولدهای موازی جدا از شبکه که دارای ترانسفورماتور مثلث-ستاره زمین شده هستند ارائه شد در این بخش نیز صادق است. وجود سیم‌پیچی مثلث در سمت فشارمتوسط مانع از عبور جریان‌های هارمونیک سوم به شبکه بالادست می‌شود اما همانطور که قبلاً به طور مفصل توضیح داده شد در صورتی که نقطه نوترال ترانسفورماتور و ژنراتور هر دو زمین شده باشند از آنجایی که جمع جبری جریان‌های هارمونیک

سوم که توسط منبع تولید می‌شود از اتصال نقطه نوترال ترانسفورماتور به زمین عبور می‌کند این مسئله می‌تواند عملکرد تجهیزات حفاظت زمین ترانسفورماتور را تحت تأثیر قرار دهد و در شرایط خاص باعث عملکرد اشتباه آنها شود مگر اینکه یا از مولدهای دارای سیم‌پیچی با گام $\frac{۲}{۳}$ استفاده شود که باعث حذف جریانهای هارمونیک سوم شود (در این صورت نیازی به استفاده از اینترلاک بین نوترال ترانسفورماتور و ژنراتور نیست اما سطح اتصال کوتاه افزایش می‌یابد که باید در انتخاب تجهیزات قطع‌کننده و حفاظتی در نظر گرفته شود) یا اینکه نقطه نوترال ترانسفورماتور و ژنراتور به طور همزمان زمین نشود که درشکل ۸-۹ نشان داده شده است. اما بهترین راهکار استفاده از ترانسفورماتورهای ستاره‌زمین شده- مثلث جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه می‌باشد که تا حد زیادی مشکلات ترانسفورماتورهای مثلث-ستاره‌زمین را مرتفع می‌نماید.



شکل (۸-۹): دو یا چند مولد موازی دارای ترانسفورماتور متصل‌کننده مثلث-ستاره زمین‌شده که قابلیت کار موازی با شبکه دارند

در این طرح چنانچه اتصال‌کوتاه تکفاز به زمین در سمت فشار متوسط رخ دهد، به واسطه وجود سیم‌پیچی مثلث در این سمت جریان مؤلفه صفر از سمت مولد به محل خطا جریان پیدا نمی‌کند و از این جهت هماهنگی سیستم حفاظت خطای زمین شبکه با مشکل مواجه نخواهد شد اما چنانچه از طرح مناسبی جهت آشکارسازی خطای زمین در سمت فشار متوسط استفاده نشود ولتاژ تجهیزاتی که بین

فازهای سالم و نوترال قرار گرفته‌اند تا ۱/۷۳ برابر مقدار نامی افزایش می‌یابد که می‌تواند باعث ایجاد خسارت در تجهیزات تکفاز شود از این رو به عنوان یک طرح، همانطور که در شکل ۴-۱۷ نشان داده شده است از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز که اولیه آنها به صورت ستاره زمین شده و ثانویه آنها به صورت مثلث باز که با یک رله بسته شده است برای آشکارسازی وقوع خطای تکفاز در سمت فشار متوسط استفاده شده است. اما در صورت وقوع خطای تکفاز به زمین در سمت فشارضعیف، در صورت وصل بودن نقطه نوترال ترانسفورماتور به زمین، جریان خطای مؤلفه صفر از سمت ترانسفورماتور نیز تغذیه خواهد شد که این باعث افزایش شدت جریان اتصال‌کوتاه نسبت به حالت استفاده از ترانسفورماتورهای متصل‌کننده ستاره زمین شده-مثلث خواهد شد که در بخش‌های قبل توضیح داده شد. نکته حائز اهمیت دیگر در هنگام استفاده از ترانسفورماتورهای ستاره زمین شده-مثلث، احتمال رخداد فرورزنانس در شبکه می‌باشد. در صورت استفاده از شبکه کابلی در سمت فشار متوسط و استفاده از ترانسفورماتورهای مثلث-ستاره زمین شده احتمال به وجود آمدن فرورزنانس در شبکه بسیار زیاد خواهد بود. بنابراین قبل از اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه بایستی احتمال ایجاد فرورزنانس (مخصوصاً در شبکه‌های کابلی) به دقت مورد بررسی قرار گیرد. بمنظور جلوگیری از این پدیده موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

- حتی الامکان از شبکه کابلی در اتصال ژنراتور و ترانسفورماتور به شبکه استفاده نشود.
- از رله ۵۹I استفاده شود که مقدار پیک اضافه ولتاژ را مورد استفاده قرار می‌دهد.
- استفاده از ترانسفورماتور *YNd* احتمال رخ داد فرورزنانس را کاهش می‌دهد.

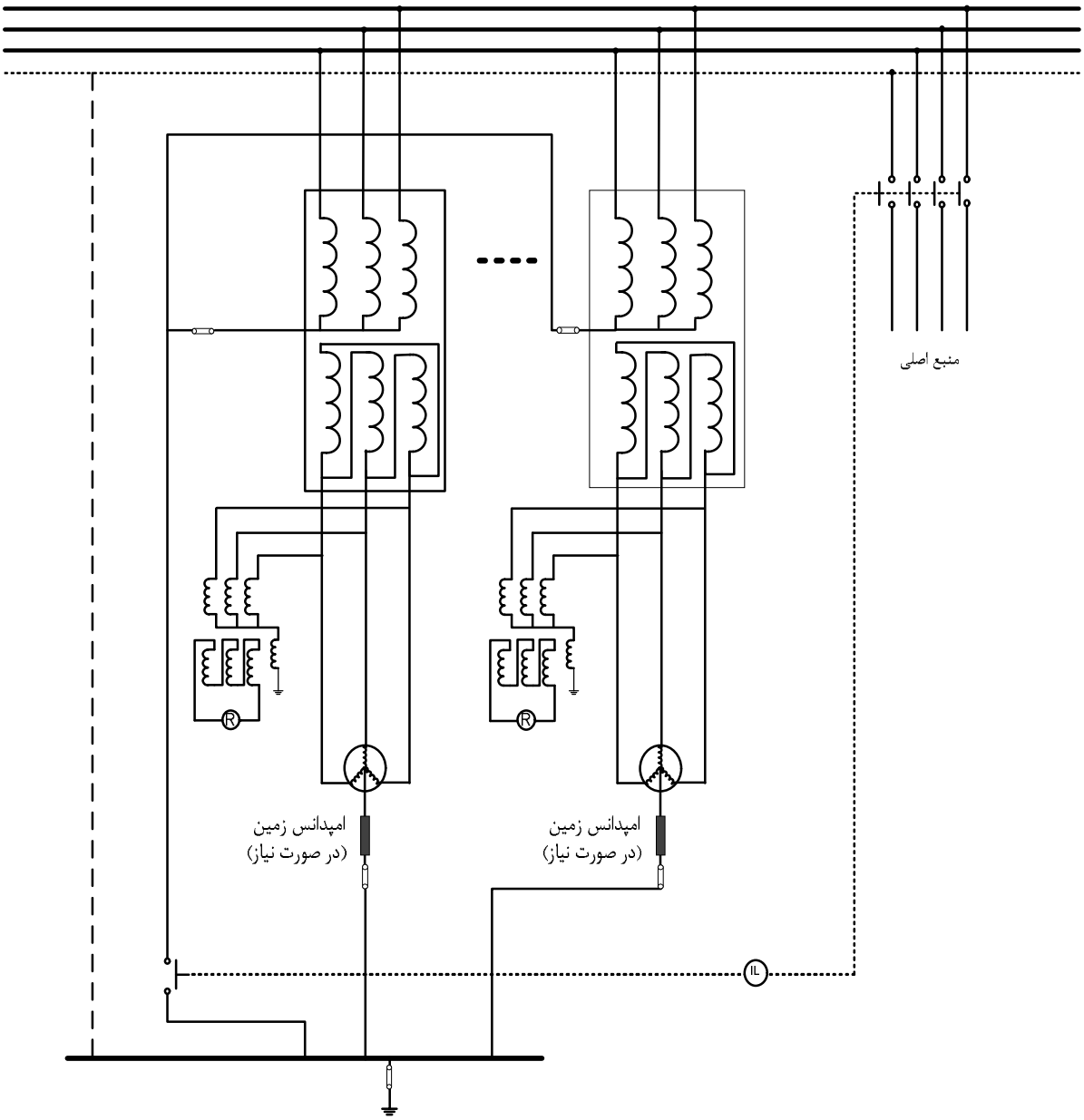
از آنجایی که بحث استفاده از تولید پراکنده در شبکه توزیع ایران یک بحث جدید است و ترانسفورماتورهایی که برای تغذیه بارها در شبکه توزیع استفاده می شوند دارای اتصال مثلث ستاره زمین شده هستند، لذا توصیه می‌شود با توجه به مشکلات استفاده از این نوع ترانسفورماتورها جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه، جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه از ترانسفورماتورهایی با اتصال ستاره زمین‌شده-مثلث استفاده شود.

*** ترانسفورماتور ستاره زمین‌شده- مثلث (YNd)**

در این حالت، برای زمین کردن منابع تولید پراکنده، همانطور که در شکل (۸-۱۰) نشان داده شده است، نقطه نوترال ترانسفورماتورهایی که مولدها را به شبکه متصل می‌کنند به یکدیگر وصل شده و از طریق یک ترمینال قابل قطع پیچی به هادی زمین متصل شده است. نکته حائز اهمیت در بهره‌برداری موازی مولدهایی که از طریق این ترانسفورماتورها به شبکه متصل می‌شوند این است که بمنظور جلوگیری از مشارکت منابع تولید پراکنده در جریان خطا در هنگام وقوع خطای تکفاز به زمین در سمت

فشار متوسط و همچنین ممانعت از گردش جریانهای هارمونیک سوم در شبکه، در هنگام کارکرد موازی مولدها با شبکه نقطه نوترال ترانسفورماتورها قطع می‌باشد. به همین منظور بایستی اینترلاکهای الکتریکی و مکانیکی لازم به منظور حصول اطمینان از بسته نبودن اتصال نقطه نوترال ترانسفورماتورها به زمین در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه در نظر گرفته شود این کار تضمین می‌کند که هنگام کار موازی مولد با منبع برق اصلی، اتصال زمین نقطه نوترال ترانسفورماتورها باز بوده و در سایر مواقع بسته باشد. این نحوه بهره‌برداری باعث می‌شود که در صورت بروز خطا در سمت فشار متوسط جریان خطای مولفه صفر از سمت منبع تولید پراکنده تأمین نشود و بنابراین هماهنگی حفاظتی تجهیزات آشکارساز خطای زمین شبکه دچار اختلال نشود و از سوی دیگر این مزیت را دارد که در صورت قطع منبع اصلی، نقطه نوترال ترانسفورماتورها به زمین متصل شده و اختلالی در عملکرد تجهیزات به کار رفته در تأسیسات به وجود نیاید.

بمنظور آشکارسازی وقوع خطای تکفاز در سمت فشار ضعیف (سمت مثلث ترانسفورماتور) از سه ترانسفورماتور تکفاز همانند حالت قبل استفاده شده است با این تفاوت که ترانسفورماتورهای ولتاژی که در این حالت مورد استفاده قرار می‌گیرد نسبت به ترانسفورماتورهای شکل ۸-۹، چون در سطح ولتاژ پایین‌تری استفاده می‌شوند دارای قیمت و اندازه کوچکتری هستند و طرح به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. نوع زمین کردن مولد (مستقیم یا از طریق امپدانس) بستگی به پارامترهای سیستم و توصیه سازنده مولد خواهد داشت.



شکل (۸-۱۰): دو یا چند مولد موازی دارای ترانسفورماتور متصل‌کننده ستاره زمین‌شده- مثلث با قابلیت کار موازی با شبکه

۸-۴- جمع‌بندی سیستم زمین

چگونگی ارتباط بین سیستم زمین ژنراتور، ترانسفورماتور و شبکه، با توجه به نوع اتصال سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور متصل‌کنندهٔ مولد به شبکهٔ برق، تأثیر مهمی در رفتار شبکه در هنگام وقوع انواع خطاهای اتصال‌کوتاه در مکانهای مختلف شبکه دارد. جهت پیشگیری از آثار سوء یک طراحی نامناسب برای سیستم زمین، باید مطالعات سیستم زمین به منظور ارائه طرحی جهت اتصال ایمن و مطمئن مولد مقیاس کوچک به شبکه برق صورت گیرد.

در طراحی سیستم زمین موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

۱- سیستم زمین نیروگاههای مقیاس کوچک باید به گونه‌ای طراحی شود که قبل از تشخیص وقوع جزیره ناخواسته در شبکه و قطع مولد از شبکه، اضافه ولتاژ مخربی در سیستم اتصال مولد به شبکه ایجاد نگردد.

۲- طرح سیستم زمین باید به گونه‌ای انجام شود که تمامی خطاهای تکفاز به زمینی که در سمت شبکه رخ می‌دهد توسط نیروگاه مقیاس کوچک دیده شود و باعث خروج DG از مدار گردد.

۳- طرح زمین باید به گونه‌ای طراحی گردد که باعث کوری حفاظتی و کاهش حساسیت رله‌های اتصال زمین نگردد.

۴- سیستم زمین نیروگاه مقیاس کوچک باید به گونه‌ای طراحی شود که مولد و ترانسفورماتور متصل‌کننده مولد به شبکه امکان تأمین زمین موثر را فراهم نمایند. همچنین امکان بروز فرورزنانس در طراحی سیستم زمین باید مد نظر قرار گیرد.

۵- انجام مطالعات سیستم زمین برای منابع تولید پراکنده با قدرت بیش از ۲۰ کیلووات ضروری می‌باشد.