شرکت توانیر
معاونت هماهنگی توزیع
دفتر مهندسی و راهبری شبکه

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

کد سند:

شرکت مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)

پیوست ب: راهنمای انجام مطالعات تهیه طرح اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه برق

دریافت کنندگان سند:

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

کد سند	تاریخ تهیه	تاریخ بازنگری	شماره آخرین بازنگری
TAV114-01/03	اسفند۱۳۹۲	خرداد ۱۴۰۰	۰۲

تهیه کننده	تائید کننده	تصویب کننده
مدیر کل دفتر مهندسی و راهبری شبکه مسعود صادقی خمامی	**معاونت هماهنگی توزیع غلامعلی رخشانی‌مهر**	**مدیرعامل شرکت توانیر محمدحسن متولی‌زاده**
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 اطلاعات مورد نیاز و اصول پیاده‌سازی و مدل‌سازی اجزای سیستم قدرت ۲۴

۲-۱-مولد سنکرون ۲۵

۲-۱-۱- بخش المان ۲۶

۲-۱-۲- بخش تایپ ۳۳

۲-۱-۳- مدل‌سازی ادوات کنترلی گاورنر و AVR برای ژنراتور سنکرون ۴۴

۲-۲-توربین بادی با ژنراتور القایی تغذیه دوگانه (DOUBLY-FED INDUCTION GENERATOR) ۴۸

۲-۲-۱-توصیف کلی ۴۸

۲-۲-۲-بخش المان ۴۸

۲-۲-۳-بخش تایپ ۵۳

۲-۳-توربین بادی (FULL CONVERTER) ۵۹

۲-۳-۱-توصیف کلی ۵۹

۲-۳-۲-بخش المان ۶۰
۲-۴-مولد خورشیدی ۶۹
۲-۴-۱-بخش المان ۷۰
۲-۴-۲-بخش تایپ ۷۵
۲-۵-مدل شبکه بینهایت ۷۶
۲-۶- ترانسفورماتور ۷۹
۲-۶-۱-بخش المان ۷۹
۲-۶-۲-بخش تایپ ۸۵
۲-۷-خط و کابل ۹۲
۲-۷-۱-بخش المان ۹۲
۲-۷-۲-بخش تایپ ۹۴
۲-۸-مدل‌سازی بار ۹۷
۲-۸-۱-بخش المان ۹۷
۲-۸-۲-بخش تایپ ۹۹
۲-۹-نتیجه‌گیری ۱۰۰

فصل سوم مطالعات پخش بار ۱۰۱

۳-۱-مقدمه ۱۰۲
۳-۲-قیود ۱۰۲
۳-۳-ورودی‌ها ۱۰۴
۳-۴-خروجی‌ها ۱۰۵
۳-۵-محدوده لازم شبیه‌سازی برای مطالعات پخش بار ۱۰۵
۳-۵-۱-محدوده لازم از شبکه بالادستی برای مطالعات پخش بار ۱۰۶
۳-۶- پیاده‌سازی نرم‌افزاری ۱۰۷
۳-۶-۱-اطلاعات مورد نیاز تجهیزات ۱۰۷
۳-۶-۲-تنظیمات ابزار مطالعات پخش بار ۱۰۷
۳-۷-اجرای برنامه پخش بار و صحت سنجی نتایج پخش ۱۰۹

۳-۷-۱-عیب یابی مشکلات و خطاهای محاسبه پخش بار ۱۰۹
۳-۷-۲-صحت سنجی نتایج ۱۱۱
۳-۸-تحلیل نتایج پخش بار ۱۱۱
۳-۹-نتیجه‌گیری ۱۱۱
فصل چهارم مطالعات اتصال کوتاه ۱۱۲
۴-۱-مقدمه ۱۱۳
۴-۲-اهداف ۱۱۳
۴-۳-عملکرد انواع منابع تولید پراکنده در هنگام خطای اتصال کوتاه ۱۲۰
۴-۳-۱-ژنراتور سنکرون ۱۲۰
۴-۳-۲-مولد القایی تغذیه دوگانه ۱۲۲
۴-۳-۳-مولدهای اینورتری ۱۲۴
۴-۴-محدوده مورد نیاز شبیه‌سازی جهت انجام مطالعات اتصال کوتاه ۱۲۵
۴-۵-قیود ۱۲۵
۴-۶-ورودی‌ها ۱۲۵
۴-۷-خروجی‌ها ۱۲۶
۴-۸-مکانهای محاسبه جریان اتصال کوتاه ۱۲۶
۴-۹-نوع خطای مورد مطالعه در انجام محاسبات جریان اتصال کوتاه ۱۲۷
۴-۱۰-پیاده‌سازی نرم‌افزاری مطالعات اتصال کوتاه ۱۲۷
۴-۱۱-تحلیل نتایج ۱۳۰
۴-۱۲-نتیجه‌گیری ۱۳۰
فصل پنجم مطالعات دینامیکی و پایداری گذرا ۱۳۲
۵-۱-مقدمه ۱۳۳
۵-۲-اهداف ۱۳۳
۵-۳ عوامل تاثیرگذار بر ناپایداری گذرا ۱۳۴
۵-۴-قابلیت گذر از اغتشاشات ولتاژ و فرکانس ۱۳۷
۵-۵-قیود ۱۴۰

۵-۶- ورودی‌ها ۱۴۱
۵-۷- خروجی‌ها ۱۴۱
۵-۸- مطالعات حالت گذرا و بررسی پایداری توسط نرم‌افزار دیگسایلنت ۱۴۱
۵-۸-۱- مطالعات گذرا ۱۴۲
۵-۸-۲- روش‌های محاسباتی ۱۴۲
۵-۸-۲-۱- شبیه‌سازی در حالت RMS متعادل ۱۴۳
۵-۸-۲-۲- شبیه‌سازی در حالت RMS سه فاز نامتعادل ۱۴۳
۵-۸-۲-۳- شبیه‌سازی در حالت EMT ۱۴۴
۵-۹- نتیجه‌گیری ۱۵۵

فصل ششم مطالعات کیفیت توان ۱۵۷

۶-۱- مقدمه ۱۵۸
۶-۲- مسائل مربوط به کیفیت توان ۱۵۹
۶-۲-۱- تنظیم ولتاژ ۱۶۰
۶-۲-۲- فلیکر ۱۶۲
۶-۲-۳- عدم تعادل ولتاژ ۱۶۳
۶-۲-۴- اعوجاج هارمونیکی ۱۶۴
۶-۳- اهداف ۱۶۴
۶-۴- قیود ۱۶۶
۶-۵- ورودی‌ها ۱۶۶
۶-۶- خروجی‌ها ۱۶۶
۶-۷- مدل‌سازی سیستم و اطلاعات تجهیزات ۱۶۷
۶-۸- پیاده‌سازی نرم‌افزاری ۱۶۸
۶-۹- نحوه جمع‌آوری اطلاعات خروجی ۱۶۹
۶-۱۰- بررسی نتایج ۱۷۱
۶-۱۱- نتیجه‌گیری ۱۷۲

فصل هفتم مطالعات هماهنگی حفاظتی ۱۷۳

۷-۱-مقدمه ۱۷۴
۷-۲-اهداف ۱۷۴
۷-۳-دلایل پیچیدگی حفاظت ۱۷۵
۷-۴-تاثیر منبع تولید پراکنده بر حفاظت شبکه توزیع ۱۷۵
۷-۴-۱-کاهش حساسیت رله بالادستی – خطا در شبکه پایین دست ۱۷۵
۷-۴-۲-ناهماهنگی حفاظتی و عملکرد اشتباه رله DG Back Feed ۱۷۶
۷-۴-۳-مشکلات مرتبط با رله وصل مجدد (Recloser) ۱۷۸
۷-۴-۳-۱- وصل مجدد فیدر فشار متوسط متصل به مولد DG ۱۷۸
۷-۴-۳-۲- وصل مجدد فیدر خروجی فشار متوسط غیرمتصل به مولد DG ۱۷۹
۷-۴-۴-ایجاد ناپایداری گذرا در ژنراتورهای سنکرون متصل به شبکه ۱۸۰
۷-۴-۵-تاثیر نامطلوب بر حفاظت جریان زیاد جهتی در فیدر ورودی ۱۸۰
۷-۴-۶-به هم خوردن منطق Fuse Saving ۱۸۰
۷-۴-۷-امکان عدم عملکرد رله‌های حفاظتی موجود در شبکه توزیع در بهره‌برداری جزیره‌ای ۱۸۲
۷-۵-رله‌های حفاظتی مورد نیاز در محل مشترک اتصال (PCC) ۱۸۲
۷-۵-۱-اهداف حفاظتی رله های به کار رفته در محل مشترک اتصال ۱۸۲
۷-۶-نیازمندی‌های هماهنگی رله‌های حفاظتی مولد و شبکه توزیع ۱۸۳
۷-۷-قیود ۱۸۴
۷-۸-ورودی‌ها ۱۸۵
۷-۹-خروجی‌ها ۱۸۵
۷-۱۰-پیاده‌سازی نرم‌افزاری مطالعات هماهنگی حفاظتی ۱۸۵
۷-۱۰-۱-روش‌های ایجاد ادوات حفاظتی ۱۸۵
۷-۱۰-۲-مدل‌سازی رله ۱۸۹
۷-۱۰-۳-صفحه تنظیمات پیشرفته ۱۹۱
۷-۱۰-۴-مشخصات اجزای رله IAC 51B21A ۱۹۳
۷-۱۰-۵-ماژول اندازه گیری ۱۹۳
۷-۱۰-۶-ماژول حفاظت اضافه جریان،۳ فاز و فاز به فاز به زمین ۱۹۵

۷-۱۰-۷-ماژول حفاظت اضافه جریان آنی فاز به فاز ۱۹۹
۷-۱۰-۸-ماژول حفاظت اضافه جریان تاخیری و آنی زمین ۲۰۰
۷-۱۰-۹-ماژول منطق خطای فاز ۲۰۰
۷-۱۰-۱۰-اطلاعات ترانسفورماتور ولتاژ ۲۰۷
۷-۱۰-۱۱-فیوز ۲۱۰
۷-۱۱-نحوه ایجاد هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان ۲۱۳
۷-۱۲-قواعد هماهنگی تجهیزات حفاظتی شبکه توزیع ۲۱۴
۷-۱۲-۱-هماهنگی رله – رله ۲۱۴
۷-۱۲-۲-هماهنگی رله- فیوز ۲۱۶
۷-۱۳-نتیجه گیری ۲۱۷
فصل هشتم مطالعات سیستم زمین ۲۱۸
۸-۱-مقدمه ۲۱۹
۸-۲-اهداف ۲۱۹
۸-۳-مطالعات سیستم زمین برای ژنراتور سنکرون ۲۱۹
۸-۳-۱-زمین کردن نوترال ژنراتور سنکرون ۲۲۱
۸-۴-مطالعات سیستم زمین برای ژنراتورهای بادی ۲۲۴
۸-۵-مطالعات سیستم زمین برای مولدهای فتوولتاییک ۲۲۵
۸-۶-مطالعات سیستم زمین برای تولیدات پراکنده بر اساس روشهای اتصال مختلف ۲۲۷
۸-۶-۱-مولد تک واحدی و جدا از شبکه ۲۲۷
۸-۶-۲-مولدهای چند واحدی و جدا از شبکه ۲۲۹
۸-۶-۳-مولدهای چند واحدی و موازی با شبکه ۲۳۱
۸-۷-قیود ۲۳۳
۸-۸-ورودی‌ها ۲۳۴
۸-۹-خروجی‌ها ۲۳۴
۸-۱۰-نتیجه‌گیری ۲۳۴
فصل نهم جمع‌بندی انجام مطالعات ۲۳۵

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 (۲-۱): مدل مفهومی استفاده شده برای ماشین سنکرون در پخش بار ۲۵
شکل (۲-۲): شکل کلی بخش المان ژنراتور سنکرون ۲۶
شکل (۲-۳): پنجره اطلاعات عمومی بخش المان ماشین سنکرون ۲۷
شکل (۲-۴): پنجره اطلاعات نوترال و زمین بخش المان ماشین سنکرون ۲۷
شکل (۲-۵): ماشین سنکرون با رابط خنثی در دسترس ۲۸
شکل (۲-۶): پنجره اطلاعات عمومی پخش بار بخش المان ماشین سنکرون ۲۸
شکل (۲-۷): محدوده مجاز عملکرد ژنراتور سنکرون ۲۹
شکل (۲-۸): پنجره تنظیمات پیشرفته پخش بار بخش المان ماشین سنکرون ۳۰
شکل (۲-۹): پنجره تنظیمات حفاظتی بخش المان ماشین سنکرون ۳۰
شکل (۲-۱۰): پنجره تنظیمات تحلیل هارمونیکی بخش المان ماشین سنکرون ۳۱
شکل (۲-۱۱): پنجره انتخاب نوع هارمونیک ولتاژ ۳۱
شکل (۲-۱۲): پنجره ورودی اطلاعات هارمونیک بر اساس روش PHASE CORRECT ۳۱
شکل (۲-۱۳): پنجره ورودی اطلاعات هارمونیک بر اساس روش IEC 61000 ..... ۳۲
شکل (۲-۱۴): پنجره انتخاب مدل فلیکر ۳۲
شکل (۲-۱۵): پنجره تنظیمات فلیکر ۳۳
شکل (۲-۱۶): شکل کلی بخش تایپ ژنراتور سنکرون ۳۴
شکل (۲-۱۷):پنجره اطلاعات پایه بخش تایپ ژنراتور سنکرون ۳۴
شکل (۲-۱۸):پنجره اطلاعات پخش بار بخش تایپ ژنراتور سنکرون ۳۵

شکل (۲-۱۹):دیاگرام مدار معادل تک فاز یک ژنراتور برای محاسبه جریان اتصال کوتاه ۳۶
شکل (۲-۲۰): تنظیمات اطلاعات مورد نیاز برای ژنراتور سنکرون در روش اتصال کوتاه کامل ۳۶
شکل (۲-۲۱): مدل اتصال کوتاه برای ژنراتور سنکرون ۳۷
شکل (۲-۲۲): مشخص کردن نوع روتور ۳۸
شکل (۲-۲۳): تنظیمات اتصال کوتاه بر اساس استاندارد IEC61363 ..... ۳۸
شکل (۲-۲۴): اطلاعات مورد نیاز برای مطالعات حالت گذرا ۳۹
شکل (۲-۲۵): پارامترهای جایگزین ثابت شتاب ژنراتور ۳۹
شکل (۲-۲۶): پارامترهای جایگزین ثابت زمانی ۴۰
شکل (۲-۲۷): تنظیمات منحنی اشباع ژنراتور سنکرون ۴۰
شکل (۲-۲۸): معادله مشخص کننده اشباع ۴۰
شکل (۲-۲۹): یک منحنی اشباع نمونه ۴۱
شکل (۲-۳۰): معادله اشباع خروجی نرم‌افزار ۴۱
شکل (۲-۳۱): تنظیمات دمپینگ ژنراتور سنکرون ۴۲
شکل (۲-۳۲): تنظیمات کیفیت توان و هارمونیک بخش تایپ ژنراتور سنکرون ۴۲
شکل (۲-۳۳): تنظیمات حفاظتی بخش تایپ ژنراتور سنکرون ۴۴
شکل (۲-۳۴): تعریف ادوات کنترلی برای ژنراتور سنکرون ۴۵
شکل (۲-۳۵): انتخاب یک AVR از پیش طراحی شده برای ژنراتور ۴۵
شکل (۲-۳۶): مشخصات قابل تنظیم یک مدل AVR ۴۶
شکل (۲-۳۷): بلوک دیاگرام AVR مدل AC7B ۴۶
شکل (۲-۳۸): بلوک دیاگرام AVR AC7B در نرم‌افزار ۴۷
شکل (۲-۳۹): واحد نیروگاهی تعریف شده با ژنراتور سنکرون و AVR ۴۷
شکل (۲-۴۰): مدل مفهومی استفاده شده مولد DFIG درنرم‌افزار ۴۸
شکل (۲-۴۱): شکل کلی بخش المان توربین بادی با ژنراتور القایی دوگانه ۴۹
شکل (۲-۴۲): پنجره اطلاعات عمومی بخش المان مولد DFIG ۴۹
شکل (۲-۴۳): مشخصات بهره‌برداری پخش بار مولد DFIG ۵۰
شکل (۲-۴۴): مدل مفهومی مولد DFIG در حالت اتصال کوتاه ۵۱
شکل (۲-۴۵): انتخاب مدار معادل DFIG در اتصال کوتاه ۵۱

شکل (۲-۴۶): حداکثر جریان گذرا اتصال کوتاه ۵۱
شکل (۲-۴۷): مشخصات لازمه مدل منبع ولتاژ دینامیک مولد DFIG..... ۵۱
شکل (۲-۴۸): اطلاعات حالت گذرای بخش المان مولد DFIG ۵۲
شکل (۲-۴۹): اطلاعات کیفیت توان بخش المان مولد DFIG..... ۵۲
شکل (۲-۵۰): اطلاعات مورد نیاز حفاظتی بخش المان مولد DFIG..... ۵۳
شکل (۲-۵۱): شمای کلی بخش تایپ توربین بادی با ژنراتور القایی دوگانه ۵۳
شکل (۲-۵۲): اطلاعات عمومی بخش تایپ مولد DFIG..... ۵۴
شکل (۲-۵۳): اطلاعات عمومی پخش بار بخش تایپ مولد DFIG..... ۵۵
شکل (۲-۵۴): مشخصه گشتاور نسبت به سرعت ژنراتور در مولد DFIG..... ۵۶
شکل (۲-۵۵): اطلاعات عمومی پخش بار مورد نیاز بخش تایپ مولد DFIG ۵۶
شکل (۲-۵۶): نمودارهای گشتاور و جریان بر حسب سرعت بر واحد مولد DFIG ۵۷
شکل (۲-۵۷): تنظیمات مطالعات اتصال کوتاه بخش تایپ مولد DFIG..... ۵۷
شکل (۲-۵۸): پارامترهای جایگزین مشخصات اتصال کوتاه بخش تایپ مولد DFIG..... ۵۸
شکل (۲-۵۹): پارامتر مورد نیاز حالت گذرای بخش تایپ مولد DFIG..... ۵۸
شکل (۲-۶۰): پارامترمورد نیاز کیفیت توان بخش تایپ مولد DFIG..... ۵۸
شکل (۲-۶۱): پارمترهای حفاظتی مورد نیاز بخش تایپ مولد DFIG..... ۵۹
شکل (۲-۶۲): شکل کلی بخش المان توربین بادی با مبدل نامی..... ۶۰
شکل (۲-۶۳): پارامترهای عمومی مولد بادی با اینورتر نامی ۶۱
شکل (۲-۶۴): بلوکهای کنترلی یک توربین بادی با اینورتر نامی..... ۶۲
شکل (۲-۶۵): انتخاب نوع کنترل کننده ولتاژ مولد بادی با اینورتر نامی ۶۲
شکل (۲-۶۶): تنظیمات پیشرفته پخش بار مولد بادی با اینورتر نامی..... ۶۲
شکل (۲-۶۷): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینوتر نامی حالت ۱ ..... ۶۳
شکل (۲-۶۸): تنظمیات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینورتر نامی حالت ۲ ..... ۶۳
شکل (۲-۶۹): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینورتر نامی حالت ۳ ..... ۶۴
شکل (۲-۷۰): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینوتر نامی در روش اتصال کوتاه کامل در مدل ماشین سنکرون... ۶۴
شکل (۲-۷۱): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینورتر نامی در روش اتصال کوتاه کامل در مدل منبع ولتاژ دینامیکی..... ۶۴

شکل (۲-۷۲): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینورتر نامی در استاندارد IEC61363 ..... ۶۵
شکل (۲-۷۳): مدل سازی منبع ورودی-مولد بادی با اینورتر نامی ۶۵
شکل (۲-۷۴): پارامترهای مورد نیاز برای مولد بادی با اینورتر نامی ۶۶
شکل (۲-۷۵): پارامترهای کنترلی مورد نیازمطالعات EMT-SIMULATION در مولد بادی با اینورتر نامی ۶۶
شکل (۲-۷۶): تنظیمات مرتبط با مطالعات کیفیت توان و هارمونیک مولد بادی با اینورتر بادی ۶۷
شکل (۲-۷۷):تنظیمات مرتبط با مطالعات GENERATION ADEQUACYمولد بادی با اینورتر نامی ۶۸
شکل (۲-۷۸): مدل در دسترس پذیری مولد بادی با اینورتر نامی ۶۸
شکل (۲-۷۹): منحنی-های مشخصه باد با توزیع وی-بول ۶۹
شکل (۲-۸۰): انواع مدل مولد خورشیدی موجود در نرم‌افزار ۷۰
شکل (۲-۸۱): شکل کلی بخش المان مولد خورشیدی نوع دوم ۷۰
شکل (۲-۸۲): مشخصات تب عمومی خورشیدی مدل دوم ۷۱
شکل (۲-۸۳): تنظیمات مکان جغرافیایی و ساختاری واحد خورشیدی دوم ۷۲
شکل (۲-۸۴): درجه آزادی واحدهای خورشیدی ۷۲
شکل (۲-۸۵): تنظیمات قسمت پخش بار مولد خورشیدی مدل دوم ۷۳
شکل (۲-۸۶): مشخصات تابشی خورشید و عوامل محیطی ۷۴
شکل (۲-۸۷): شکل کلی بخش تایپ مولد خورشیدی نوع دوم ۷۵
شکل (۲-۸۸): تنظیمات نقطه حداکثر توان و جنس مولد خورشیدی مدل دوم ۷۵
شکل (۲-۸۹): منحنی نمونه نقطه حداکثر توان ۷۶
شکل (۲-۹۰): تنظیمات موجود برای مدل شبکه بینهایت ۷۷
شکل (۲-۹۱): تنظیمات اتصال کوتاه مدل شبکه بی نهایت بر اساس استاندارد IEC/VDE ۷۷
شکل (۲-۹۲): تنظیمات اتصال کوتاه مدل شبکه بینهایت براساس روش کامل ۷۸
شکل (۲-۹۳): تنظیمات اتصال کوتاه مدل شبکه بینهایت بر اساس استاندارد ANSI ۷۸
شکل (۲-۹۴): تنظیمات اتصال کوتاه مدل شبکه بینهایت بر اساس استاندارد IEC61363 ..... ۷۸
شکل (۲-۹۵): مشخصات حالت گذرای مدل شبکه بینهایت ۷۹
شکل (۲-۹۶): شکل کلی بخش المان ترانسفورماتور ۸۰
شکل (۲-۹۷): اطلاعات کلی بخش المان ترانسفورماتور ۸۰
شکل (۲-۹۸): اطلاعات زمین و نوترال بخش المان ترانسفورماتور ۸۱

شکل (۲-۹۹): اطلاعات کلی پخش بار بخش المان ترانسفورماتور ۸۲
شکل (۲-۱۰۰): تنظیمات پیشرفته پخش بار بخش المان ترانسفورماتور ۸۳
شکل (۲-۱۰۱): تنظیمات اتصال کوتاه روش VDE/IEC بخش المان ترانسفورماتور ۸۴
شکل (۲-۱۰۲): تنظیمات حفاظتی بخش المان ترانسفورماتور ۸۵
شکل (۲-۱۰۳): شکل کلی بخش تایپ ترانسفورماتور ۸۵
شکل (۲-۱۰۴): اطلاعات پایه بخش تایپ ترانسفورماتور ۸۶
شکل (۲-۱۰۵): اطلاعات پخش بار بخش تایپ ترانسفورماتور ۸۷
شکل (۲-۱۰۶): اطلاعات تپ چنجر بخش تایپ ترانسفورماتور ۸۸
شکل (۲-۱۰۷): اطلاعات اشباع بخش تایپ ترانسفورماتور ۸۹
شکل (۲-۱۰۸): منحنی اشباع ترانسفورماتور ۹۰
شکل (۲-۱۰۹): انتخاب تعدادستونهای ترانسفورماتور ۹۰
شکل (۲-۱۱۰): ترانسفورماتورهای ۳و ۵ ستونه ۹۱
شکل (۲-۱۱۱): اطلاعات هارمونیکی بخش تایپ ترانسفورماتور ۹۱
شکل (۲-۱۱۲): اطلاعات حفاظتی بخش تایپ ترانسفورماتور ۹۲
شکل (۲-۱۱۳): شکل کلی بخش المان خط یا کابل ۹۳
شکل (۲-۱۱۴): اطلاعات پایه بخش المان خط یا کابل ۹۴
شکل (۲-۱۱۵): شکل کلی بخش تایپ خط و کابل ۹۴
شکل (۲-۱۱۶): اطلاعات پایه بخش تایپ خط یا کابل ۹۵
شکل (۲-۱۱۷): اطلاعات پخش بار بخش المان خط یا کابل ۹۶
شکل (۲-۱۱۸): روشهای جایگزین تاثیر دما بر مقاومت ۹۶
شکل (۲-۱۱۹): اطلاعات حفاظتی بخش تایپ خط یا کابل ۹۷
شکل (۲-۱۲۰): شکل کلی بخش المان بار ۹۷
شکل (۲-۱۲۱): اطلاعات پایه بخش المان مصرف کننده ۹۷
شکل (۲-۱۲۲): اطلاعات پخش بار بخش المان مصرف کننده ۹۸
شکل (۲-۱۲۳): شکل کلی بخش تایپ بار ۹۹
شکل (۲-۱۲۴): اطلاعات پایه بخش تایپ مصرف کننده ۹۹
شکل (۲-۱۲۵): اطلاعات پخش بار بخش تایپ مصرف کننده ۱۰۰

شکل (۳-۱): استفاده از منابع پراکنده به عنوان برق پشتیبان ۱۰۴
شکل (۳-۲): شبکه ۶۳ کیلوولت و انتخاب باس تونن ۱۰۶
شکل (۳-۳): شبکه معادل سازی شده با تجهیز باس بینهایت ۱۰۷
شکل (۳-۴): نماد مربوط به محاسبات پخش بار ۱۰۷
شکل (۳-۵): تنظیمات مطالعات پخش بار ۱۰۸
شکل (۳-۶): انتخاب نوع معادلات پخش بار ۱۰۹
شکل (۴-۱): حد حرارتی جریان ۱۱۴
شکل (۴-۲): مقدار بیشینه جریان خطا ۱۱۴
شکل (۴-۳): مقدار جریان قطع کلید ۱۱۵
شکل (۴-۴): گذر جریان یکسان از هر دو ترانسفورماتور جریان و حفظ هماهنگی حفاظتی ۱۱۷
شکل (۴-۵): گذر جریان مختلف از دو ترانس جریان و احتمال اشباع و ناهماهنگی حفظاظتی ۱۱۷
شکل (۴-۶): نمونه شکل موج خروجی ترانس جریان اشباع شده ۱۱۷
شکل (۴-۷): وقوع خطا در بالادست مولد پراکنده ۱۱۸
شکل (۴-۸): وقوع خطا در پایین دست مولد پراکنده ۱۱۸
شکل (۴-۹): وقوع خطا در پایین دست مولد پراکنده ۱۲۱
شکل (۴-۱۰): نمودار جریان اتصال کوتاه تزریقی ژنراتور سنکرون ۱۲۱
شکل (۴-۱۱): نمودار جریان خطای اتصال کوتاه سه فاز مولد القایی دو سوء تغذیه ۱۲۲
شکل (۴-۱۲): نمای کلی یک مولد بادی با ژنراتور القایی از تغذیه دوگانه ۱۲۳
شکل (۴-۱۳): مقدار هارمونیک اصلی جریان اتصال کوتاه ۱) بدون کروبار، ۲) با وجود کروبار ۱۲۳
شکل (۴-۱۴): شکل جریان اتصال کوتاه خروجی مولد اینورتری ۱۲۴
شکل (۴-۱۵): مکانهای مناسب برای محاسبه جریان اتصال کوتاه ۱۲۷
شکل (۴-۱۶): نماد مربوط به محاسبات اتصال کوتاه ۱۲۷
شکل (۴-۱۷): انتخاب گزینه محاسیات اتصال کوتاه ۱۲۸
شکل (۴-۱۸): تنظیمات محاسبات اتصال کوتاه ۱۲۸
شکل (۵-۱): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به اینرسی ژنراتور ۱۳۵
شکل (۵-۲): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به محل خطای سه فاز به ازای H=1 ..... ۱۳۵
شکل (۵-۳): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به محل خطای فاز به فاز ۱۳۶

شکل (۵-۴): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به نقطه کار اولیه ژنراتور به ازای خطای سه فاز ۱۳۶
شکل (۵-۵): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به سیستم کنترل تحریک ژنراتور ۱۳۷
شکل (۵-۶): الزامات LVRT در کشور آمریکا ۱۳۸
شکل (۵-۷): الزامات HVRT در کشور استرالیا ۱۳۹
شکل (۵-۸): حالتی که DG دارای قابلیت LVRT مورد نظر می‌باشد ۱۳۹
شکل (۵-۹): حالتی که DG دارای قابلیت LVRT مورد نظر نمی‌باشد ۱۴۰
شکل (۵-۱۰): مطالعات EMT و RMS ۱۴۳
شکل (۵-۱۱): مقداردهی اولیه ۱۴۴
شکل (۵-۱۳): گامهای زمانی ۱۴۶
شکل (۵-۱۴): تطبیق اندازه گام ۱۴۷
شکل (۵-۱۵): گزینه‌های پیشرفته ۱۴۸
شکل (۵-۱۶): تولید نویز ۱۵۰
شکل (۵-۱۷): تعریف نوع رخداد ۱۵۰
شکل (۵-۱۸): رخداد کلیدزنی ۱۵۱
شکل (۵-۱۹): رخداد اتصال کوتاه ۱۵۲
شکل (۵-۲۰): رخداد ماشین سنکرون ۱۵۲
شکل (۵-۲۱): رخداد بار ۱۵۳
شکل (۵-۲۲): رخداد تغییر تپ ترانسفورماتور ۱۵۴
شکل (۵-۲۳): ایجاد پنل ابزار مجازی به منظور مشاهده منحنی نتایج مطالعات دینامیکی ۱۵۵
شکل (۶-۱): پروفیل ولتاژ در شرایط قبل و بعد از وقوع خطا ۱۶۲
شکل (۶-۲): انتخاب جعبه ابزار کیفیت توان ۱۶۸
شکل (۶-۳): تنظیمات مربوط به مطالعات کیفیت توان ۱۶۹
شکل (۶-۴): خروجی مطالعات هارمونیکی نرم‌افزار در محیط گرافیکی ۱۷۰
شکل (۶-۵): اطلاعات ذخیره شده در نرم افزار از محاسبات هارمونیکی و کیفیت توان ۱۷۰
شکل (۶-۶): تنظیمات استخراج نتیجه مطالعات کیفیت توان از نرم‌افزار ۱۷۰
شکل (۷-۱): خطا در شبکه پایین دست مولد DG ۱۷۶
شکل (۷-۲): کاهش ناحیه قابل دسترس رله بالادست در حضور مولد DG ۱۷۶

شکل (۷-۳): عملکرد نادرست رله جریان زیاد ابتدای فیدر مولد (DG Back Feed) ۱۷۷
شکل (۷-۴): رله Zero Voltage برای وصل مجدد فیدر ۱۷۹
شکل (۷-۵): منطق Fuse Saving ۱۸۱
شکل (۷-۶): ایجاد تجهیزات حفاظتی از روش ۱ ..... ۱۸۶
شکل (۷-۷): انتخاب نمایش جزئیه باس یا پست ۱۸۶
شکل (۷-۸): نمای با جزییات باس-پست ۱۸۷
شکل (۷-۹): جعبه ابزار تجهیزات حفاظتی ۱۸۷
شکل (۷-۱۰): قرار دادن تجهیزات حفاظتی به روش ۲ ..... ۱۸۸
شکل (۷-۱۱): شکل کلی بخش تایپ ماژول ۱۸۹
شکل (۷-۱۲): اطلاعات کلی بخش تایپ رله ۱۹۰
شکل (۷-۱۳): شکل بلوکی رله ۱۹۰
شکل (۷-۱۴): اطلاعات کلی بخش تایپ رله ۱۹۲
شکل (۷-۱۵): تنظیمات بخش المان رله ۱۹۲
شکل (۷-۱۶): اتنظیمات بخش تایپ ماژول اندازهگیری ۱۹۳
شکل (۷-۱۷): محدوده تنظیم رنج جریان نامی ۱۹۴
شکل (۷-۱۸): بخش المان ماژول اندازه گیری ۱۹۴
شکل (۷-۱۹): بخش تایپ ماژول حفاظت اضافه جریان ۱۹۵
شکل (۷-۲۰): تنظیمات مشخصه جریانی زمانی رله اضافه جریان فاز به فاز ۱۹۶
شکل (۷-۲۱):دسته منحنیهای مشخصه جریان-زمان رله اضافه جریان تاخیری ۱۹۷
شکل (۷-۲۲): بخش المان ماژول اضافه جریان فاز ۱۹۸
شکل (۷-۲۳): بخش تایپ رله اضافه جریان فاز آنی ۱۹۹
شکل (۷-۲۴): بخش المان رله اضافه جریان فاز آنی ۱۹۹
شکل (۷-۲۵): بخش تایپ ماژول منطق خطای فاز ۲۰۰
شکل (۷-۲۶): بخش المان ماژول منطق خطای فاز ۲۰۱
شکل (۷-۲۷):شکل کلی بخش تایپ ترانسفورماتور جریان ۲۰۲
شکل (۷-۲۸): اطلاعات پایه بخش تایپ ترانسفورماتور جریان ۲۰۲
شکل (۷-۲۹): اطلاعات اضافه پایه بخش تایپ ترانسفورماتور جریان ۲۰۳

شکل (۷-۳۰): شکل کلی بخش المان ترانسفورماتور جریان ۲۰۴
شکل (۷-۳۱): اطلاعات پایه بخش المان ترانسفورماتور جریان ۲۰۴
شکل (۷-۳۲): اطلاعات اضافی بخش المان ترانسفورماتور جریان ۲۰۵
شکل (۷-۳۳): شکل کلی بخش تایپ ترانسفورماتور ولتاژ ۲۰۶
شکل (۷-۳۴): تنظیمات پایه بخش تایپ ترانسفورماتور ولتاژ ۲۰۷
شکل (۷-۳۵): اطلاعات ساختاری ترانسفورماتور ولتاژ ۲۰۷
شکل (۷-۳۶): شکل کلی بخش المان یک ترانسفورماتور ولتاژ ۲۰۸
شکل (۷-۳۷): اطلاعات پایه بخش المان ترانسفورماتور ولتاز ۲۰۹
شکل (۷-۳۸): در نظر گرفتن سیم پیچ ثانویه اضافه برای ترانسفورماتور ولتاژ ۲۰۹
شکل (۷-۳۹): شکل کلی بخش تایپ فیوز ۲۱۰
شکل (۷-۴۰): اطلاعات پایه بخش تایپ فیوز ۲۱۰
شکل (۷-۴۱): تنظیمات منحنی ذوب فیوز ۲۱۱
شکل (۷-۴۲): منحنیهای ذوب فیوز ۲۱۱
شکل (۷-۴۳): تنظیمات بخش المان فیوز ۲۱۲
شکل (۷-۴۴): دیاگرام و منحنیهای حفاظتی یک شبکه توزیع نمونه ۲۱۳
شکل (۸-۱): سیستم زمین TT ۲۲۰
شکل (۸-۲): سیستم زمین TN ۲۲۰
شکل (۸-۳): دو روش زمین کردن مولدهای فتوولتاییک ۲۲۶
شکل (۸-۴): روش ترکیبی زمین کردن مولدهای فتوولتاییک ۲۲۶
شکل (۸-۵): زمین کردن مولد تکی جدا از شبکه با ترانس واسطه Dyn ۲۲۸
شکل (۸-۶): زمین کردن مولد تکی جدا از شبکه با ترانس واسطه YNd ۲۲۹
شکل (۸-۷): زمین کردن مولدهای چند واحدی جدا از شبکه با ترانس واسطه Dyn ۲۳۰
شکل (۸-۸): زمین کردن مولدهای چند واحدی جدا از شبکه با ترانس واسطه YNd ۲۳۱
شکل (۸-۹): زمین کردن مولدهای چند واحدی موازی شبکه با ترانس واسطه Dyn ۲۳۲
شکل (۸-۱۰): زمین کردن مولدهای چند واحدی موازی شبکه با ترانس واسطه YNd ۲۳۳
شکل (۹-۱): فلوچارت نحوه انجام مطالعات اتصال به شبکه ۲۳۶

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 ANSI/IEEE ۲۰
جدول (۴-۱): مشخصات و ضرایب نوع خطا ژنراتور سنکرون ۱۲۲
جدول (۶-۱): محدوده مجاز هارمونیک ولتاژ ۱۶۵
جدول (۶-۲): محدوده مجاز هارمونیک فرد جریان برحسب درصدی از جریان نامی ۱۶۵
جدول (۶-۳): محدوده مجاز هارمونیک زوج جریان برحسب درصدی از جریان نامی ۱۶۵
جدول (۶-۴): محدوده مجاز هارمونیک مشترکین در سطوح ولتاژ ۰,۴ و ۲۰ کیلوولت ۱۶۷
جدول (۶-۵): محدوده مجاز هارمونیک مشترکین در سطوح ولتاژ ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت ۱۶۸
جدول (۶-۶): اطلاعات خروجی از نرم‌افزار برای یک سیستم نمونه ۱۷۱

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، که پیوست (ب) دستورالعمل اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه می‌باشد، 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 :

- منبع تولید پراکنده:

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 منبع تولید پراکنده در نظر گرفته می‌شوند.

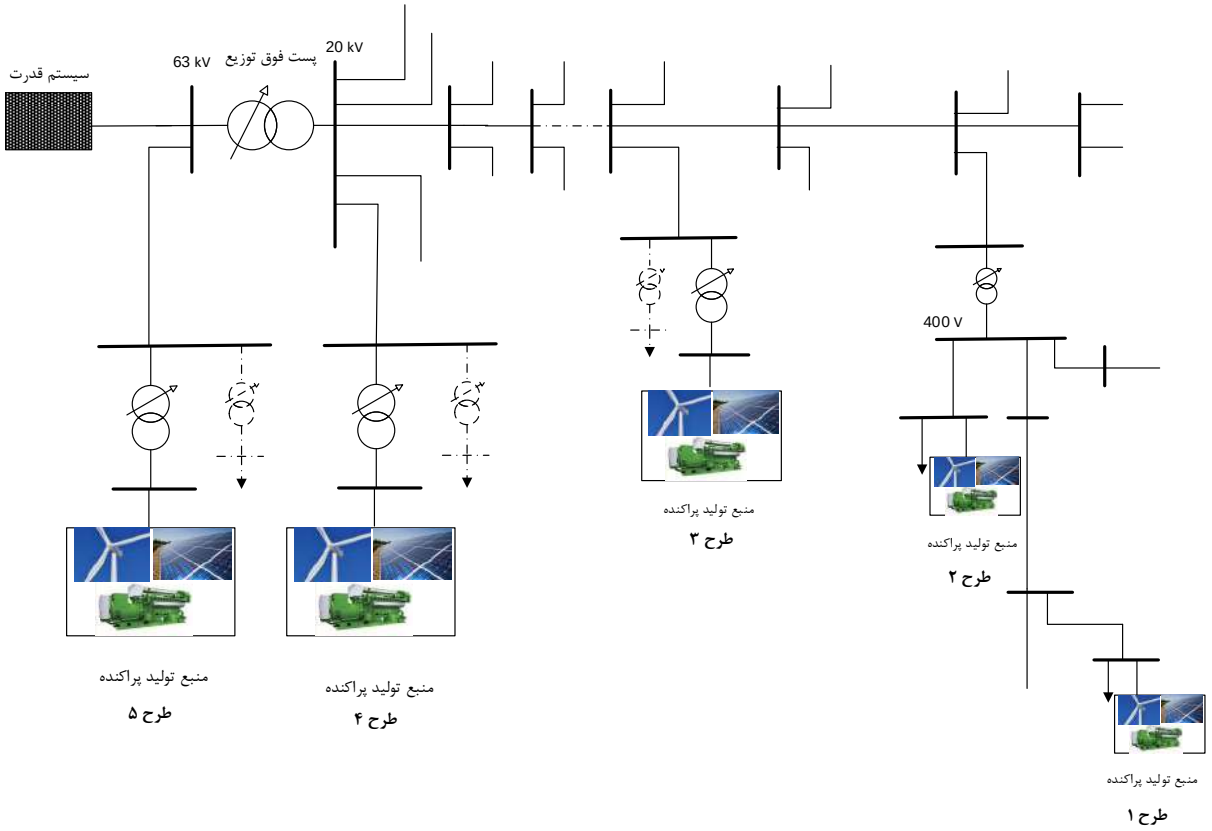
- طبقه‌بندی منابع تولید پراکنده با توجه به مقادیر نامی

جدول (۱-۱) : کلاس‌های مولدهای تولید پراکنده

کلاس	مقادیر قدرت نامی
۱	کمتر از **۲۰ کیلووات**
۲	مساوی یا بیشتر از **۲۰ کیلووات** و کمتر از **۲۰۰ کیلووات**
۳	مساوی یا بیشتر از **۲۰۰ کیلووات** و کمتر از **۱۰۰۰ کیلووات**
۴	مساوی یا بیشتر از **۱ مگاوات** و مساوی یا کمتر از **۷ مگاوات**
۵	بیشتر از **۷ مگاوات** و مساوی یا 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

	کلاس۱	کلاس۲	کلاس۳	کلاس۴	کلاس۵
طرح ۱	*				
طرح ۲	*	*			
طرح ۳		*	*	*	
طرح ۴				*	*
طرح ۵					*

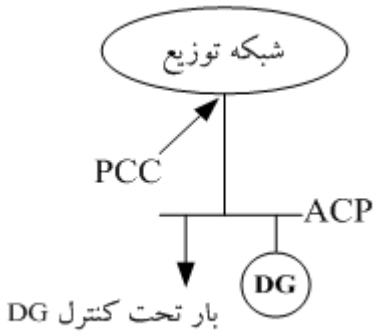
- نقطهٔ اتصال واقعی DG به شبکه (ACP) :

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،

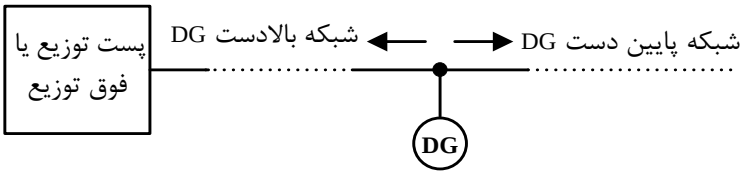
نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات سمت تولید را در این نقطه بر عهده دارد. مالک DG مسئول هرگونه هزینه اضافی تحمیل‌شده به شبکه انتقال و توزیع ناشی از اتصال است. مالک شبکه بررسی فنی، طراحی و ساخت مورد نیاز برای نصب را انجام می‌دهد و هزینه‌های مورد نظر را به عهده مالک DG می‌گذارد. هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری 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.

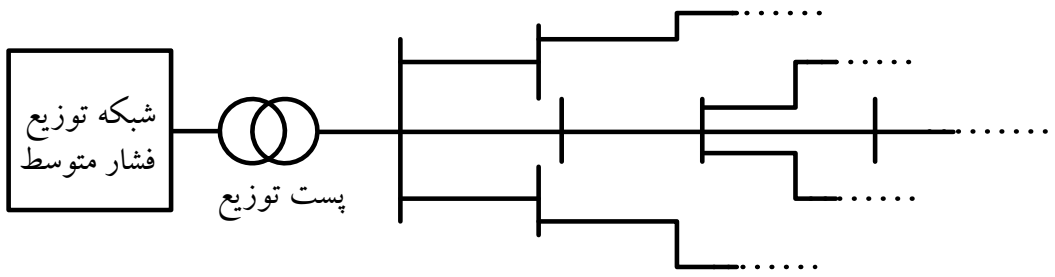
- فیدرهای فشار متوسط :

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 کنترل Q-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.

- آزمون‌های قبل از اتصال :

آزمون‌هایی که برای قبول عملکرد اتصال منابع تولید پراکنده به شبکهٔ توزیع، بر روی کلیهٔ تجهیزات منابع تولید پراکنده قبل از اتصال به شبکه (بهره‌برداری موازی) صورت می‌پذیرد. این آزمون‌ها شامل آزمون‌های نوع (طراحی)، آزمون‌های تولید و آزمون‌های راه‌اندازی می‌باشد که در پیوست (د) "دستورالعمل اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه" به طور مفصل توضیح داده خواهند شد.

- آزمون‌های دوره‌ای :

آزمون‌هایی که برای اطمینان از عملکرد صحیح تجهیزات منابع تولید پراکنده در دوره‌های زمانی مشخص انجام می‌گیرد. در زمان انجام آزمون‌های راه‌اندازی، توافقی بین بهره‌بردار شبکه و سرمایه‌گذار منبع تولید پراکنده برای انجام آزمون‌هایی 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)

- 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 منبع تولید پراکنده در محدوده مجاز، قبل از اتصال منبع تولید پراکنده 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 ANSI/IEEE

عملکرد	شماره رله	عملکرد	شماره رله
رله تعادل ولتاژ یا از دست رفتن تغذیه	60	رله تأخیر زمانی وصل یا شروع به کار	2
رله زمین‌شدن میدان	64F	رله دیستانس	21
رله اضافه ولتاژ زمین ژنراتور	64B	رله ولت بر هرتز	24
حفاظت ۱۰۰٪ زمین‌شدن استاتور با تزریق فرکانس پایین	64S	رله سنکرون چک	25
رله اضافه‌جریان جهت‌دار AC	67	رله افت ولتاژ	27
رله خروج از گام	68	رله افت ولتاژ هارمونیک سوم نوترال	27TN
رله آلارم	74	رله توان معکوس یا توان جهتدار	32
رله اضافه جریان DC	76	رله افت جریان یا افت توان	37
رله اندازه‌گیری زاویه فاز	78	رله حذف تحریک (از دست رفتن تحریک)	40
رله فرکانسی	81	رله اضافه جریان توالی منفی	46
رله نرخ تغییرات فرکانس	81R	رله اضافه ولتاژ توالی منفی	47
کنترل انتخابی اتوماتیک یا رله انتقالی	83	رله حرارتی ماشین یا ترانسفورماتور	49
رله حامل یا سیم پایلوت	85	رله اضافه جریان آنی	50
رله قفل (lock out)	86	رله دیفرانسیلی قطع فاز	50DT
رله دیفرانسیل	87	تحریک غیرعمدی	50/27
رله کمکی تریپ	94	رله خرابی بریکر فاز	50BF
رله اضافه ولتاژ	59	رله اضافه جریان معکوس زمانی AC	51

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 *IEC 60364* 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.

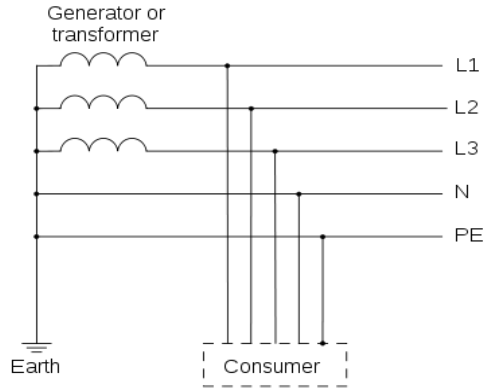
حرف دوم نشان‌دهنده نحوه اتصال تجهیزات الکتریکی تغذیه شونده و زمین است :

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.



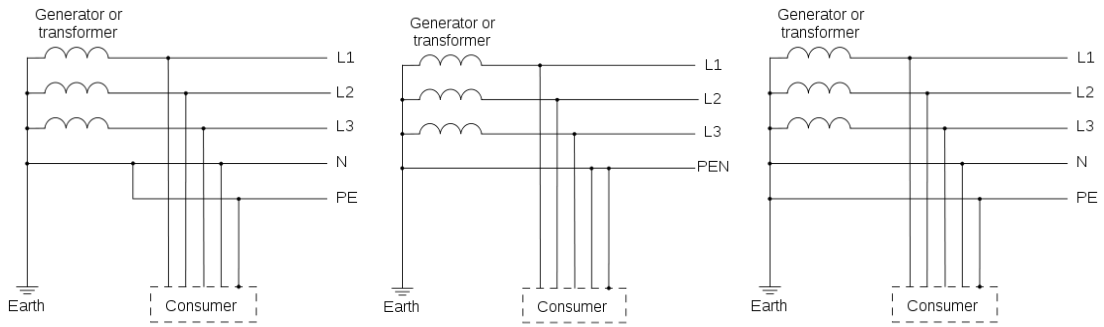
شکل (۱-۵) : سیستم زمین TN

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.

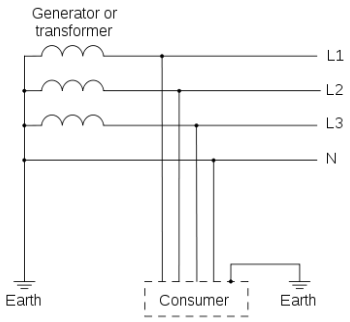


a b c

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

سیستم‌های TT :

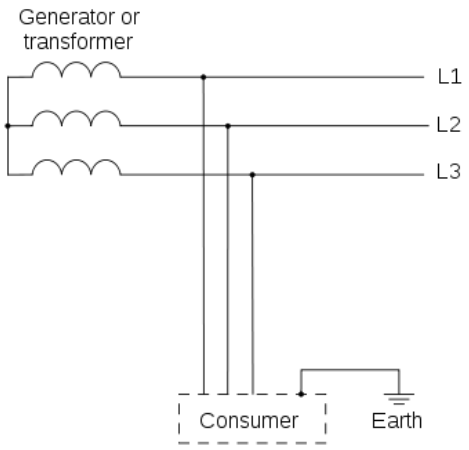
در یک سیستم زمین **TT**، اتصال زمین حفاظتی تجهیزات مشترکین از طریق اتصال زمین محلی (چاه ارت جداگانه) فراهم می‌شود که مستقل از هرگونه اتصال زمین در محل ژنراتور می‌باشد. مزیت عمده سیستم‌های **TT**، مصون بودن آن از هرگونه نویز و اغتشاش فرکانس بالا و فرکانس پایین که می‌تواند در اثر عملکرد تجهیزات متصل به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

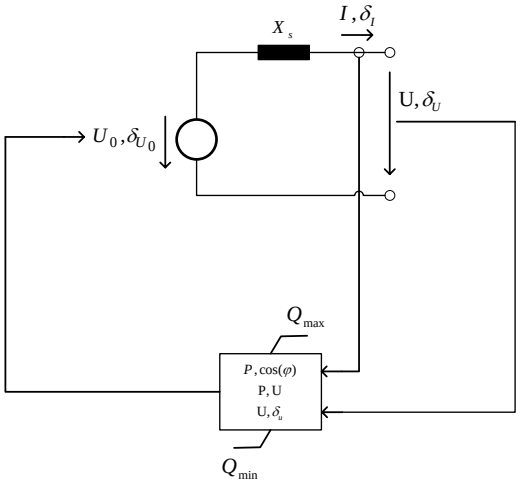
اطلاعات مورد نیاز و اصول پیاده‌سازی و مدل‌سازی اجزای سیستم قدرت

در این بخش به معرفی مدل‌ها، تنظیمات و قسمت‌های مختلف اجزا تشکیل دهنده سیستم توزیع و همین طور مدل‌های مختلف منبع تولید پراکنده پرداخته می‌شود و نحوه مدل‌سازی آنها در نرم‌افزار DIgSILENT و همچنین اطلاعات مورد نیاز بیان شود.

۲-۱- مولد سنکرون

مدل پایه مفهومی یک ماشین سنکرون کنترل شده برای آنالیز پخش بار در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

برای محاسبه پخش بار حالت ماندگار، یک ماشین سنکرون می‌تواند به شکل یک منبع ولتاژ با یک راکتانس سنکرون مدل شود. اگر چه در یک محاسبه پخش بار واقعی فرایند کنترلی ژنراتور سنکرون به طور معمول مدل می‌شود.



شکل (۲-۱): مدل مفهومی استفاده شده برای ماشین سنکرون در پخش بار

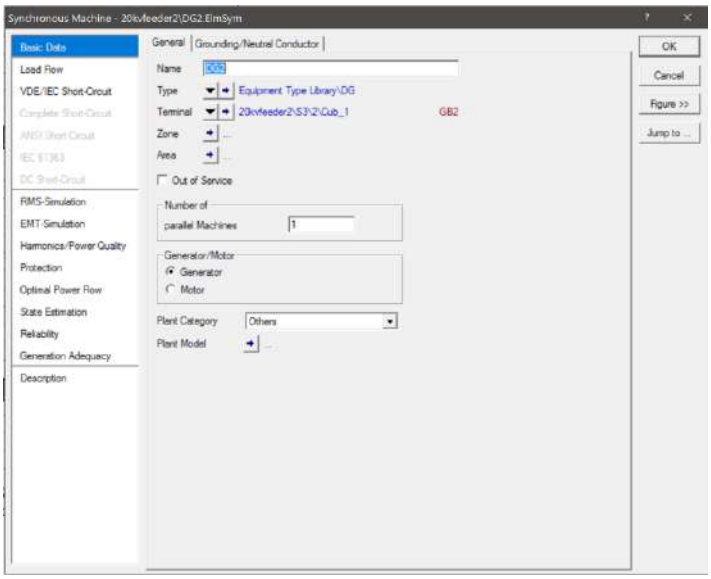
همانند بیشتر مدل‌های موجود در نرم‌افزار DIgSILENT، اطلاعات مربوط به مولدها نیز در دو بخش المان[1] و تایپ[2] وارد می‌شود. در ادامه به معرفی اطلاعات لازم برای انجام مطالعات طرح اتصال در بخش المان پرداخته می‌شود.

[1] Element

[2] Type

۲-۱-۱-بخش المان

شکل کلی بخش المان ژنراتور سنکرون در نرم‌افزار، در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۲): شکل کلی بخش المان ژنراتور سنکرون

صفحه اطلاعات پایه[1]

اطلاعات عمومی[2]

همانطور که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است، در بخش المان، قسمت‌های زیر وجود دارد:

۱- نام تجهیز

۲- نوع تجهیز انتخاب می‌شود-در قسمت‌های بعدی گزارش به این قسمت بیشتر پرداخته خواهد شد.

۳- باس متصل به تجهیز در شبکه

۴- تنظیمات مربوط به گروه‌بندی تجهیز

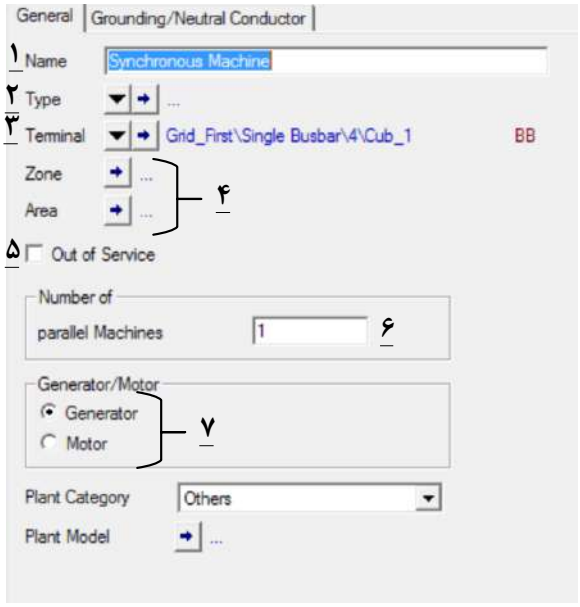
۵- گزینه انتخاب خارج از سرویس بودن تجهیز

۶- حالت موتوری یا ژنراتوری تجهیز

---

[1] Basic Data

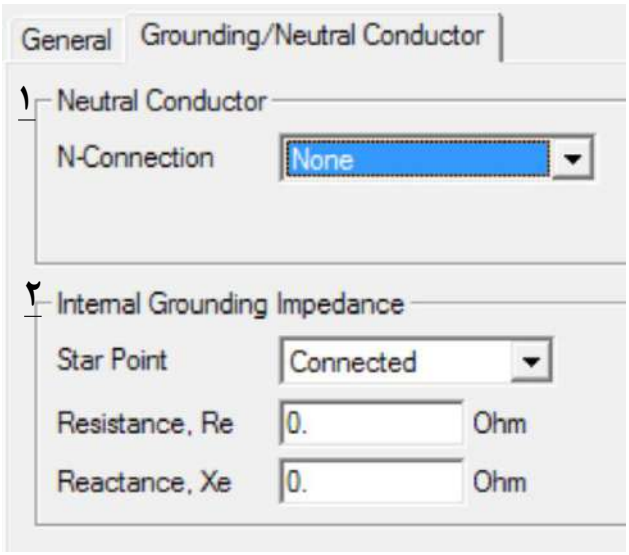
[2] General



شکل (۲-۳): پنجره اطلاعات عمومی بخش المان ماشین سنکرون

مشخصات نوترال و زمین

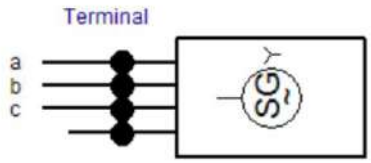
این قسمت به تنظیم مشخصات اتصال نقطه خنثی ژنراتور و همین طور زمین داخلی تجهیز ژنراتور می‌پردازد. لازم به ذکر است که این تنظیمات تنها در حالتی قابل دسترسی است، که سیم پیچی ژنراتور به صورت ستاره با نقطه خنثی باشد. مطابق شکل (۲-۴) داریم:



شکل (۲-۴): پنجره اطلاعات نوترال و زمین بخش المان ماشین سنکرون

۱- در این قسمت تنظیمات در دسترسی نقطه نوترال ژنراتور انجام می‌شود. گزینه‌های این تنظیم عبارتند از:

- ✓ بدون اتصال(None)-به صورت یک رابط خنثی در ترمینال ژنراتور همانند شکل (۲-۵)
- ✓ به صورت یک ترمینال مجزا (separate terminal)



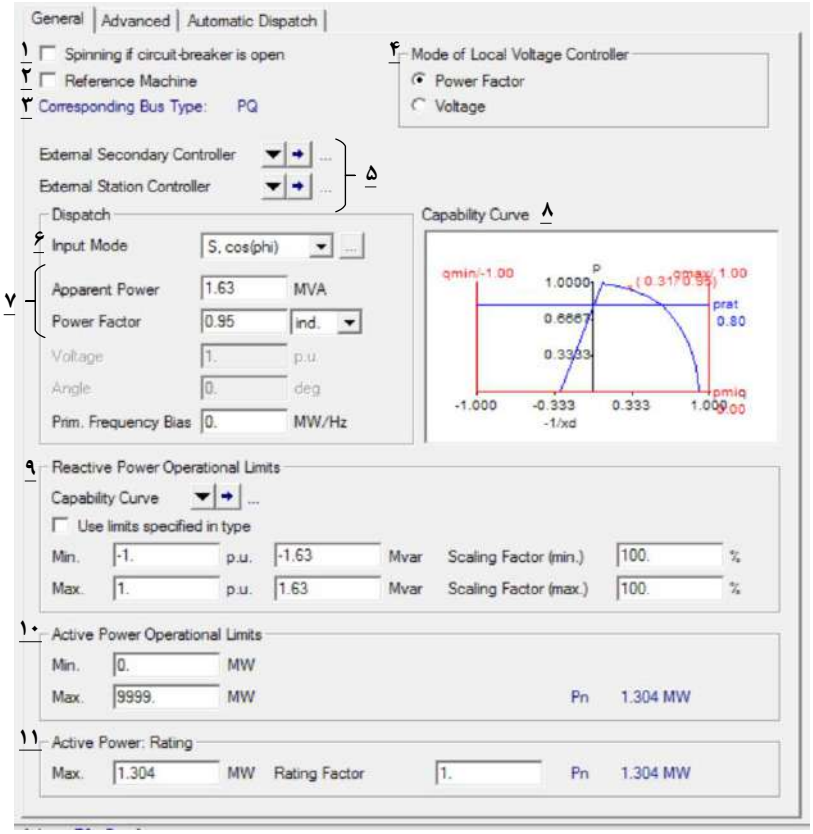
شکل (۲-۵): ماشین سنکرون با رابط خنثی در دسترس

۲- در این قسمت زمین شدن یا زمین نشدن نقطه نوترال ژنراتور و همین طور مقاومت و راکتانس نقطه زمین تنظیم می‌شود.

صفحه اطلاعات پخش بار

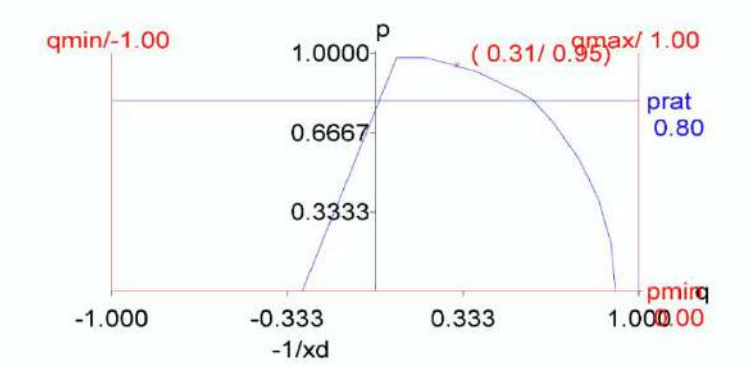
اطلاعات عمومی

همانطور که در شکل (۲-۶) مشخص است در این قسمت از نرم‌افزار، اطلاعات عمومی مولدهای سنکرون مطابق زیر باید وارد نرم‌افزار گردد:



شکل (۲-۶): پنجره اطلاعات عمومی پخش بار بخش المان ماشین سنکرون

۱- با انتخاب این گزینه در صورت باز شدن مدار شکن متصل کننده به شبکه، ژنراتور به چرخش خود ادامه می‌دهد.
۲- با انتخاب این گزینه مد بهره‌برداری ژنراتور به حالت ماشین مرجع تغییر حالت می‌دهد.
۳- نشان دهنده مد بهره‌برداری مولد است.
۴- در این قسمت حالت کنترل ولتاژ محلی ژنراتور است که با انتخاب ولتاژ به حالتPV و با انتخاب کنترل ضریب توان به حالت PQ تغییر حالت می‌دهد.
۵- این دو تنظیم مربوط به تنظیمات پیشرفته کنترلی همانند کنترل فرکانس یا ولتاژ یک باس دیگر و یا در حالتی که چندین ژنراتور به یک باس متصل هستند مربوط می‌شوند. با توجه به حالت بهره‌برداری منابع تولید پراکنده این تنظیم‌ها کابردی ندارند.
۶- در این منوی پنجره‌ای، نوع اطلاعات ورودی برای بهره‌برداری ژنراتور از میان گزینه‌های مختلف توان ظاهری، اکتیو، راکتیو و ضریب توان انتخاب می‌شود.
۷- بر اساس تنظیمات حالت قبل مقدار توان و نوع و مقدار ضریب توان مشخص می‌شود.
۸- این قسمت مشخصات منحنی توانایی را مشخص می‌کند. همانطور که در شکل (۲-۷) مشخص است. این منحنی ناحیه مجاز عملکرد ژنراتور را بر مبنای دو بعد توان اکتیو و راکتیو مشخص می‌کند. نقطه کار ژنراتور در این منحنی به رنگ قرمز مشخص شده است.



شکل (۲-۷): محدوده مجاز عملکرد ژنراتور سنکرون

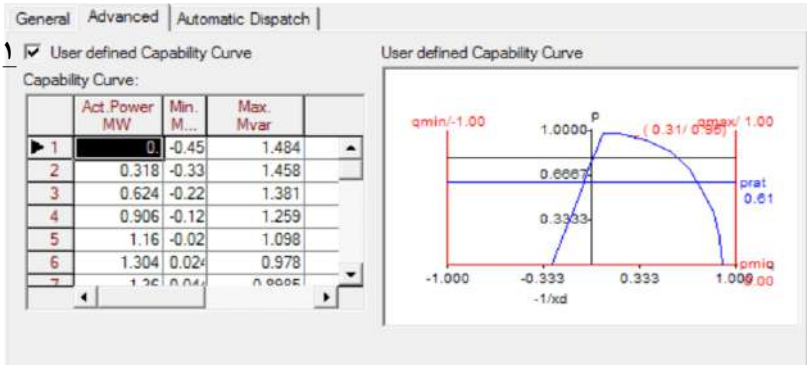
در این قسمت محدوده عملیاتی توان راکتیو مشخص می‌شود. به صورت پیش فرض این محدودیت‌ها بر اساس منحنی توانایی ژنراتور هستند. اما می‌توان با انتخاب گزینه use limits

specified in type مجاز توان راکتیو را براساس فیلدهای موجود را در این قسمت مشخص کرد.

۹- محدوده عملیاتی توان اکتیو مشخص می‌شود.

۱۰-در این قسمت ضریب توان تولیدی اکتیو ژنراتور تنظیم می‌شود. در واقع با انتخاب عدد کمتر از ۱ می‌توان مسئله derating ژنراتور را به شبیه‌سازی وارد نمود.

تنظیمات پیشرفته

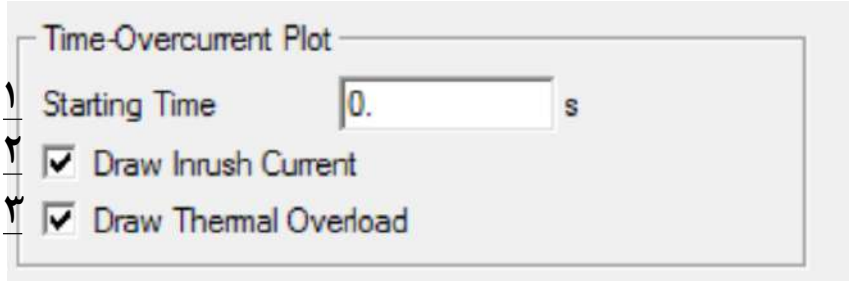


شکل (۲-۸): پنجره تنظیمات پیشرفته پخش بار بخش الماان ماشین سنکرون

با انتخاب گزینه User defined Capability Curve می‌توان منحنی توانایی ژنراتور را به صورت نقطه‌ای در جدول وارد نمود.

صفحه اطلاعات حفاظتی

در این صفحه تنظیمات مربوط به مشخصات و تنظیمات حفاظتی ژنراتور تعیین می‌شود.

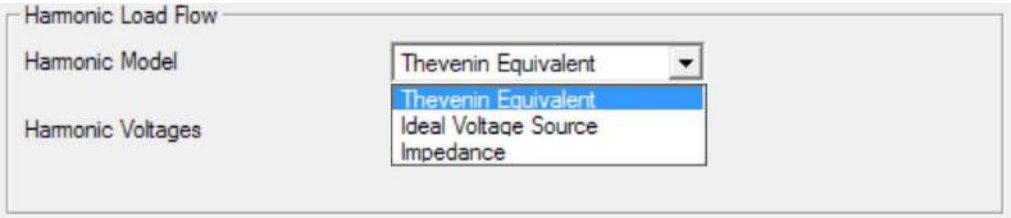


شکل (۲-۹): پنجره تنظیمات حفاظتی بخش الماان ماشین سنکرون

۱- در این قسمت زمانی که راه اندازی ژنراتور لازم دارد تنظیم می‌شود.

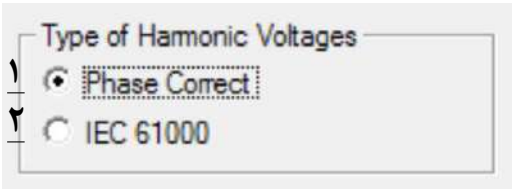
۲و۳- با انتخاب این گزینه‌ها منحنی‌های مربوط جریان هجومی و همینطور اضافه بار حرارتی در مطالعات حفاظتی رسم می‌شود.

صفحه اطلاعات کیفیت توان و تحلیل هارمونیکی



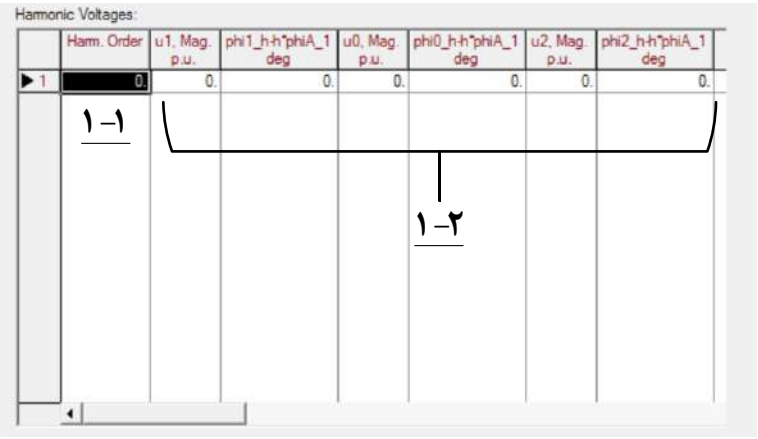
شکل (۲-۱۰): پنجره تنظیمات تحلیل هارمونیکی بخش المان ماشین سنکرون

در ابتدا لازم است مدل مورد نظر برای تحلیل هامونیکی ژنراتور انتخاب شود. می‌توان از سه حالت مدار معادل تونن، منبع ولتاژ ایده‌ال و امپدانس مدل هامونیکی ژنراتور را انتخاب نمود. در صورت انتخاب دو گزینه اول لازم است مشخصات هارمونیک‌ها بر اساس شکل زیر وارد شود. ابتدا لازم است که تایپ اطلاعات ورودی هارمونیک‌های ولتاژ مشخص شود.



شکل (۲-۱۱): پنجره انتخاب نوع هارمونیک ولتاژ

با انتخاب گزینه ۱، مشخصات ورودی هارمونیک‌های ولتاژ مطابق شکل (۲-۱۲) ظاهر می‌گردد.

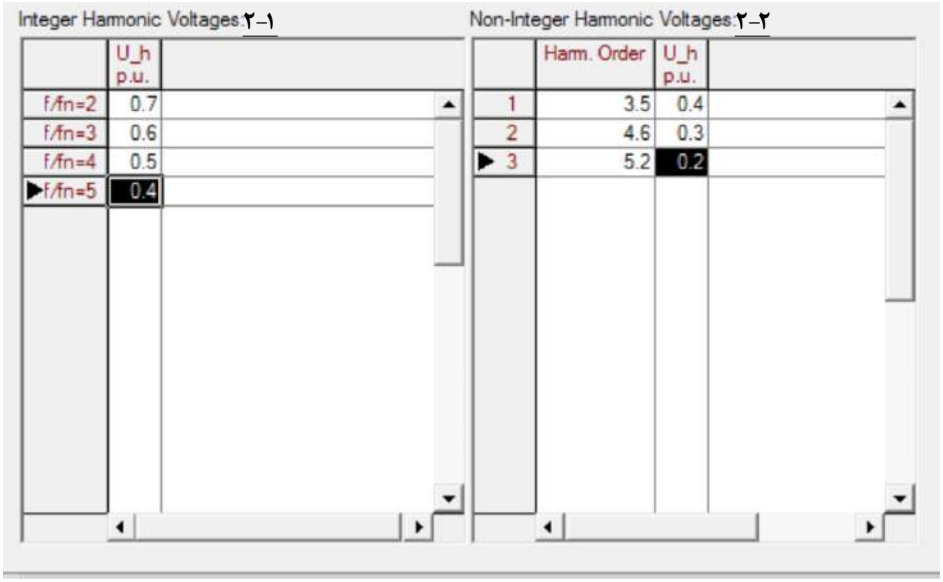


شکل (۲-۱۲): پنجره ورودی اطلاعات هارمونیک بر اساس روش Phase Correct

۱-۱- در این قسمت شماره هارمونیک وارد می‌شود.

۲-۱- در این قسمت به ترتیب دامنه و فاز ولتاژ با شماره هارمونیک مشخص شده در سه مولفه مثبت، صفر و منفی وارد می‌شود.

با انتخاب گزینه ۲، بر اساس استاندارد IEC 61000 مقادیر هارمونیک‌های ولتاژ بر اساس شکل زیر تکمیل می‌شود.

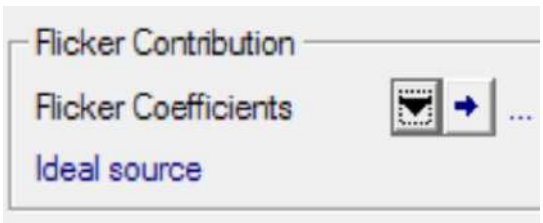


شکل (۲-۱۳): پنجره ورودی اطلاعات هارمونیک بر اساس روش IEC 61000

۲-۱- در این قسمت دامنه هارمونیک‌هایی که ضریب صحیحی از فرکانس اصلی هستند وارد می‌شود.

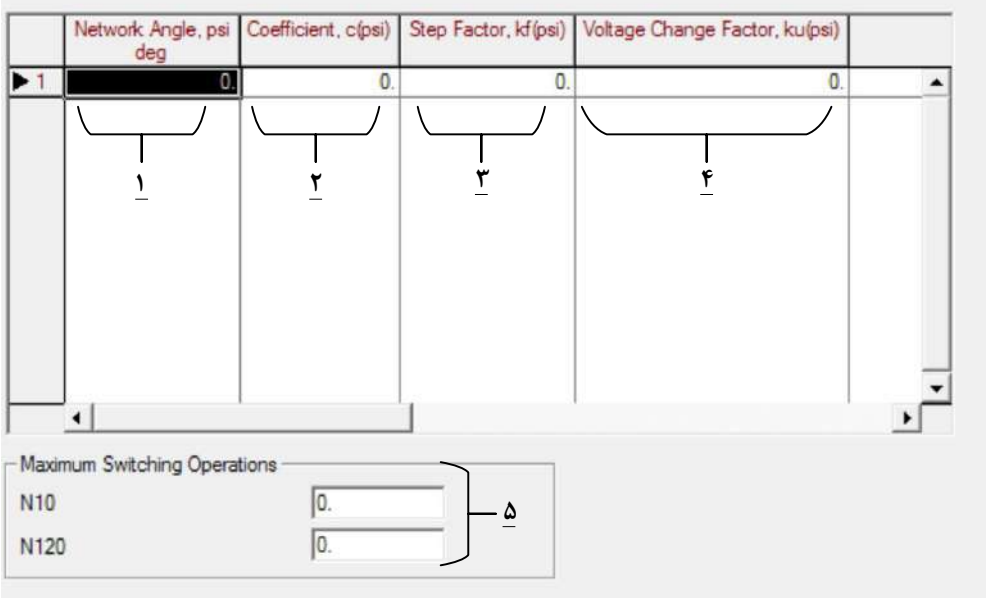
۲-۲- در این قسمت مقدار دامنه هارمونیک ولتاژهایی وارد می‌شود که ضریب غیر صحیحی از فرکانس اصلی هستند.

در مورد تحلیل فلیکر ژنراتور لازم است ابتدا همانند شکل زیر یک مدل فلیکر ولتاژ انتخاب شود.



شکل (۲-۱۴): پنجره انتخاب مدل فلیکر

در اینصورت پنجره‌ای مطابق شکل زیر باز می‌شود و می‌توان پارامترهای مورد نظر را با استفاده از استاندارد IEC 61400-21 تنظیم نمود.



شکل (۲-۱۵): پنجره تنظیمات فلیکر

۱- زاویه امپدانس شبکه است و باید در محدوده [۱۸۰,۱۸۰-] (به صورت پیش فرض) یا [۰,۳۶۰] باشد. همه ستون‌ها باید با یک ترتیب پر شوند و استفاده ترکیبی از این دو محدوده مجاز نیست. همچنین باید زاویه به صورت صعودی پر شود.

۲- ضریب فلیکر به عنوان تابعی از زاویه امپدانس شبکه باید وارد شود.

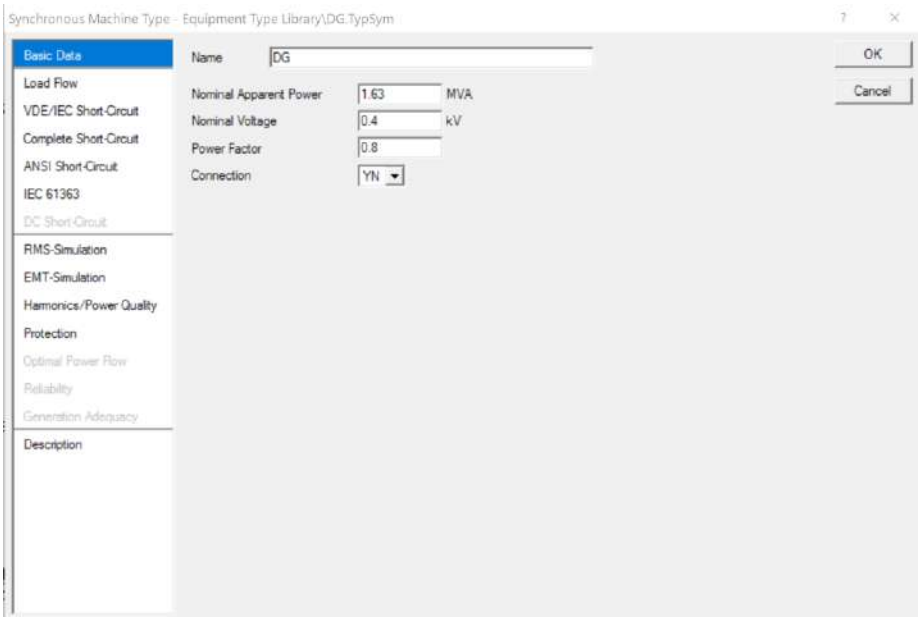
۳- پله فلیکر به عنوان تابعی از زاویه امپدانس شبکه باید وارد شود.

۴- عامل تغییر ولتاژ به عنوان یک تابع از زاویه امپدانس شبکه باید وارد شود. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد IEC 61400-21 مراجعه گردد.

۵- در این قسمت بیشترین تعداد عملیات کلید زنی به ازای زمان ۱۰ و ۱۲۰ دقیقه‌ای وارد می‌شود.

۲-۱-۲- بخش تایپ

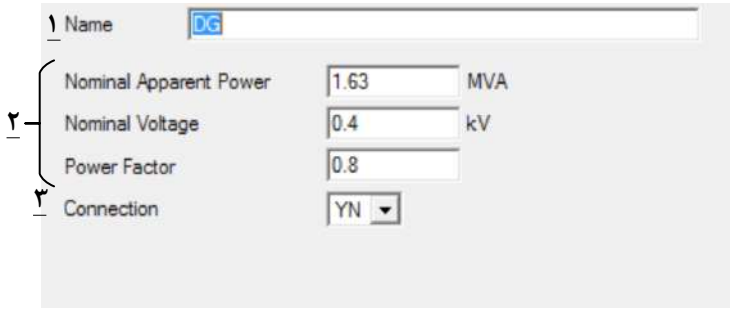
شمای کلی بخش تایپ ژنراتور سنکرون در شکل (۲-۱۶) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۶): شکل کلی بخش تایپ ژنراتور سنکرون

صفحه اطلاعات پایه

شکل (۲-۱۷) پنجره اطلاعات پایه بخش تایپ ژنراتور سنکرون را نشان می‌دهد. بخش‌های مختلف در این شکل عبارتند از:



شکل (۲-۱۷):پنجره اطلاعات پایه بخش تایپ ژنراتور سنکرون

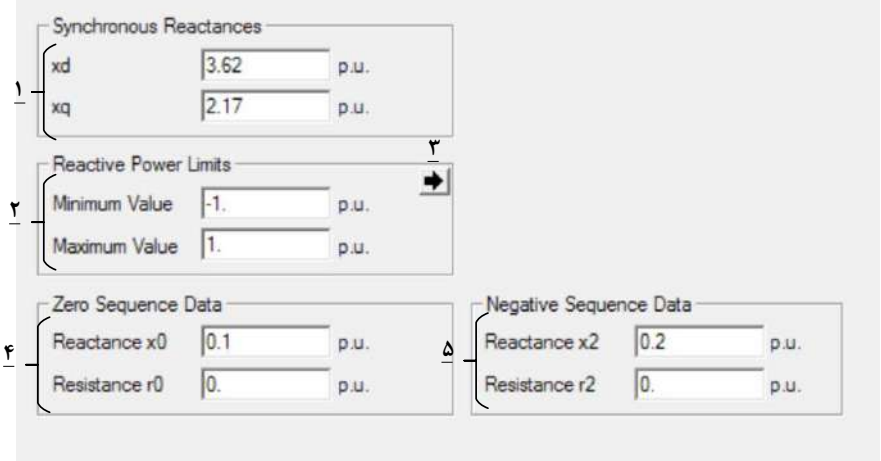
۱- نام تایپ ژنراتور

۲- توان ظاهری، ولتاژ و ضریب توان ژنراتور (این اطلاعات ثابت ژنراتور هستند و اطلاعات بهره‌برداری با استفاده از این مشخصات به دست می‌آید)

۳- نوع سیم پیچی ژنراتور (ستاره، ستاره زمین شده-مثلث)

صفحه اطلاعات پخش بار

پنجره اطلاعات پخش بار بخش تایپ ژنراتور سنکرون در شکل (۲-۱۸) نشان داده شده است بخش-های مختلف در این شکل عبارتند از:



شکل (۲-۱۸):پنجره اطلاعات پخش بار بخش تایپ ژنراتور سنکرون

۱- راکتانس سنکرون در دو راستای d و q

۲- محدوده تولید توان راکتیو

۳- تغییر نحوه ورود محدوده توان راکتیو از پریونیت به مقدار واقعی

۴- مقاومت و راکتانس توالی صفر ژنراتور

۵- مقاومت و راکتانس توالی منفی ژنراتور

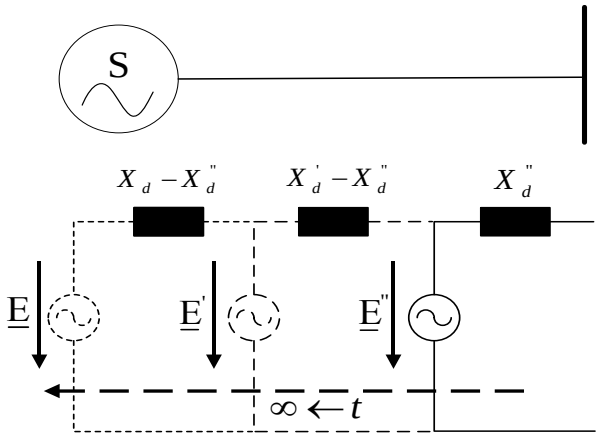
صفحه اطلاعات اتصال کوتاه

برای مطالعات اتصال کوتاه ،ماشین سنکرون به وسیله ۳ مدل زیر بیان می‌شود:

- مدار معادل حالت زیرگذرا
- مدار معادل گذرا
- مدار معادل سنکرون

استفاده از این سه مدار معادل وابسته به مدت زمان طی شده از زمان بروز خطا در شبکه است. تفاوت تاثیر زمانی به دلیل تاثیر افزایش جریان استاتور بر جریان‌های القایی در سیم پیچی‌های میرا کننده، جرم روتور و سیم پیچی میدان می‌باشد. در صورت نزدیک بودن خطا به ژنراتور، جریان استاتور می‌تواند طوری افزایش یابد که باعث ضعیف شدن قابل توجه میدان مغناطیسی روتور گردد. در مطالعات اتصال کوتاه ماندگار، این تضعیف میدان به وسیله یک منبع ولتاژ و راکتانس متناظر مدل می‌شود. مدل مرتبط توالی

مثبت ماشین سنکرون در شکل (۲-۱۹) نشان داده شده است. اثر تاخیری میدان استاتور بر تحریک و میدان میرا کننده به صورت کلیدزنی بین منابع ولتاژ $\underline{E}''$، $\underline{E}'$ و $\underline{E}$ که وابسته به بازه زمانی محاسبات است، مدل می‌شود.

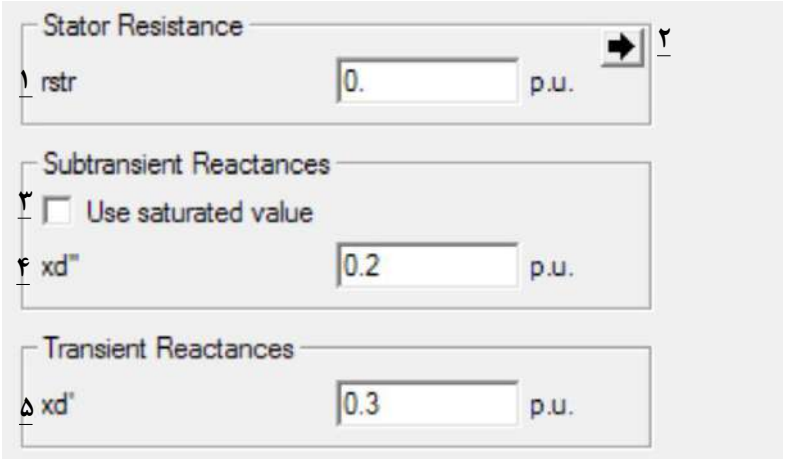


شکل (۲-۱۹):دیاگرام مدار معادل تک فاز یک ژنراتور برای محاسبه جریان اتصال کوتاه

در ادامه به بررسی نحوه مدل‌سازی ژنراتور سنکرون جهت انجام مطالعات اتصال کوتاه با استفاده از روش‌های مختلف، پرداخته می‌شود.

روش اتصال کوتاه کامل [1]

در روش "اتصال کوتاه کامل"، منبع ولتاژ داخلی به وسیله پخش بار مقدار دهی اولیه می‌شود. روش "اتصال کوتاه کامل" جریان خطای زیرگذرا و گذرا را به وسیله منبع ولتاژ و راکتانس زیر گذرا و گذرا محاسبه می‌کند. اطلاعات لازم به صورت زیر می‌باشد:



شکل (۲-۲۰): تنظیمات اطلاعات مورد نیاز برای ژنراتور سنکرون در روش اتصال کوتاه کامل

[1] Complete Method

۱- مقاومت روتور ژنراتور

۲- تغییر حالت وارد کردن مقاومت استاتور از حالت پریونیت به حالت نسبت مقدار مقاومت به راکتانس استاتور

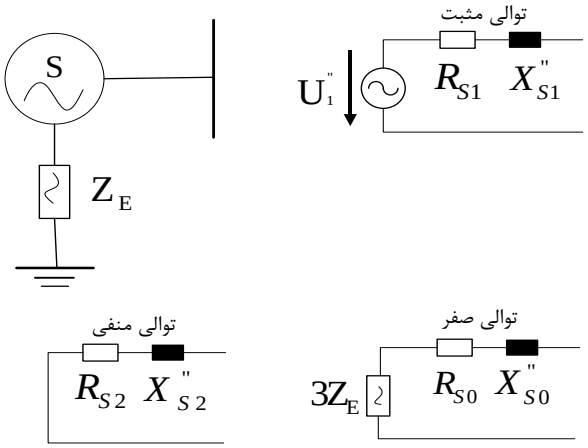
۳- با انتخاب این گزینه مقدار X''_d به صورت اشباع شده در بخش شماره ۴ وارد می‌شود. که این مقدار از مقدار اشباع کمتر است و برای به دست آوردن بیشترین جریان اتصال کوتاه استفاده می‌شود.

۴- مقدار راکتانس زیر گذرا بسته با حالت بخش ۳

۵- مقدار راکتانس گذرا

روش اتصال کوتاه استاندارد IEC 60909

استانداردهای سری IEC 60909 دسته‌ای از استانداردهایی هستند که تنها محاسبات بازه زمانی زیرگذرا را انجام می‌دهند. جریان اتصال کوتاه برای بازه‌های طولانی‌تر با ضرب جریان زیر گذرا در ضرایبی که به وسیله روش‌های تجربی به دست آمده‌اند، محاسبه می‌شود.



شکل (۲-۲۱): مدل اتصال کوتاه برای ژنراتور سنکرون

روش اتصال کوتاه استاندارد ANSI-C37

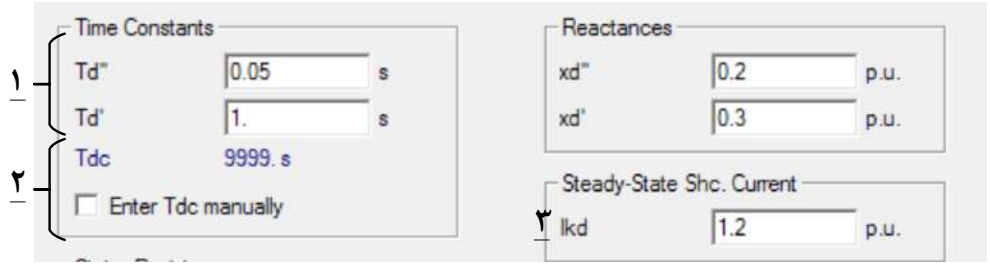
در این استاندارد همانند استانداردIEC60909 تنها جریان خطای زیرگذرا به طور واقعی محاسبه می‌شود و برای دیگر زمان‌ها، از ضرایب مربوطه استفاده می‌گردد. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد ANSI-C37 و اسناد مربوطه مراجعه شود. در این روش برای انجام مطالعات اتصال کوتاه، لازم است نوع روتور از جهت استوانه‌ای یا صاف بودن همانند شکل مشخص گردد.

شکل (۲-۲۲): مشخص کردن نوع روتور

روش اتصال کوتاه استاندارد IEC 61363

در استاندارد IEC61363 روش محاسبه جریان اتصال کوتاه در شبکه‌های سه فاز شعاعی نصب شده در کشتی‌ها یا واحدهای دریایی ثابت یا متحرک بیان شده است.

محاسبه جریان اتصال کوتاه برای یک ماشین سنکرون بر اساس ارزیابی بیشترین مقدار واقعی جریان اتصال کوتاه وابسته به زمان است. نتایج خروجی تابعی از پارامترهای پایه‌ای ماشین (توان، امپدانس و غیره) و ولتاژهای اکتیو (E'',E',E) ما قبل امپدانس‌های زیرگذرا، گذرا و سنکرون ماشین است. امپدانس وابسته به شرایط عملیاتی ماشین در زمان قبل از رخداد شرایط اتصال کوتاه است. مطابق شکل (۲-۲۳) اطلاعات مورد نیاز برای بخش‌های مختلف بصورت زیر است:



شکل (۲-۲۳): تنظیمات اتصال کوتاه بر اساس استاندارد IEC61363

۱- در این قسمت ثابت زمانی‌های مربوط به حالات زیرگذر و گذر ژنراتور سنکرون مشخص می‌شود.

۲- به صورت پیش فرض ثابت زمانی قسمت DC جریان اتصال کوتاه مقدار بسیار بالایی در نظر گرفته می‌شود که باعث می‌شود قسمت جریان ثابت خطا، میرایی خیلی ضعیفی داشته و در تمام مدت خطا حضور داشته باشد. با انتخاب گزینه Enter Tdc manually این مقدار را می‌توان تغییر داد.

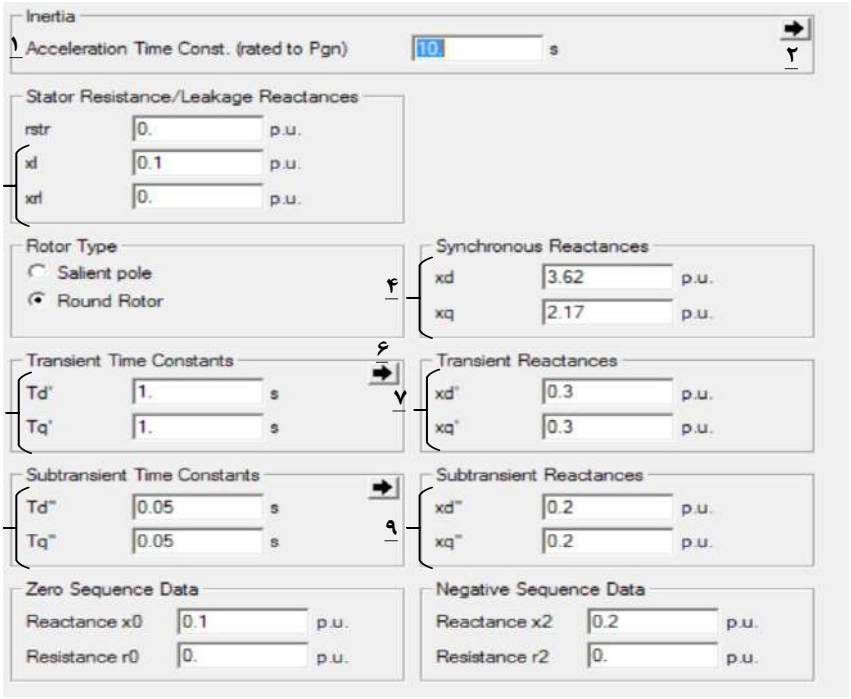
۳- در این قسمت مقدار جریان اتصال کوتاه که در حالت ماندگار، ژنراتور می‌تواند تامین کند، تنظیم می‌شود.

صفحه مطالعات حالت گذرا RMS-Simulation و EMT-Simulation

در این قسمت به اطلاعات لازم جهت پیاده‌سازی مطالعات حالت گذرا پرداخته می‌شود. RMS-Simulation برای بررسی رویدادهای با زمان گذر متوسط و طولانی مناسب است.

تب اطلاعات پایه

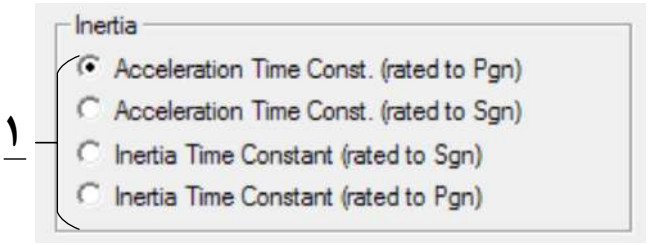
اطلاعات پایه مورد نیاز جهت انجام مطالعات حالت گذرا در نرم‌افزار در شکل (۲-۲۴) نشان داده شده است. بخش‌های مختلف این شکل عبارتند از:



شکل (۲-۲۴): اطلاعات مورد نیاز برای مطالعات حالت گذرا

۱- مدت زمان شتاب گیری ژنراتور برای رسیدن به حداکثر توان اکتیو تولیدی

۲- در این قسمت با انتخاب زبانه مورد نظر جایگزین‌های پارامتر شرح داده در بخش ۱ نشان داده می‌شود. همانطور که در شکل (۲-۲۵) مشخص است، پارمتراهای جایگزین بیان شده عبارتند از: زمان شتاب گیری به مقدار توان ظاهری نامی، ثابت زمانی اینرسی به مقدار توان ظاهری، ثابت زمانی اینرسی به مقدار توان اکتیو.



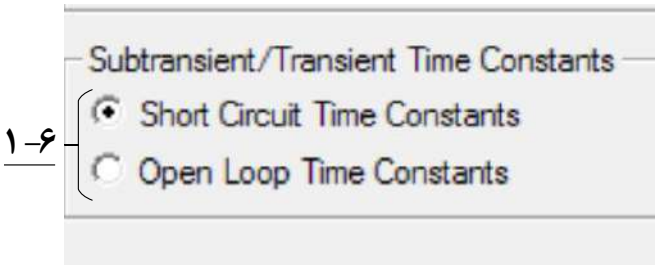
شکل (۲-۲۵): پارامترهای جایگزین ثابت شتاب ژنراتور

۳- راکتانس‌های معادل اندوکتانس نشتی استاتور و روتور

۴- راکتانس سنکرون در قاب مرجع q-d

۵- ثابت زمانی نظیر قسمت گذرا در قاب مرجع q-d

۶- در این قسمت، پارامترهای انتخابی جایگزین بخش ۵ قابل انتخاب است؛ همانطور که در شکل زیر مشخص است پارامترهای موجود عبارتند از: ثابت زمانی‌های اتصال کوتاه و ثابت زمانی‌های مدار باز.



شکل (۲-۲۶): پارامترهای جایگزین ثابت زمانی

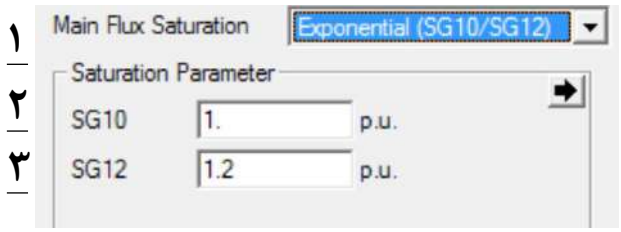
۷- مقدار راکتانس‌های گذرا در قاب مرجع p-q

۸- ثابت زمانی‌های حالت زیرگذرا در قاب مرجع p-q در (ثابت زمانی مربوط به اتصال کوتاه و یا مدار باز وجود دارد.)

۹- راکتانس زیر گذرا در قاب مرجع p-q

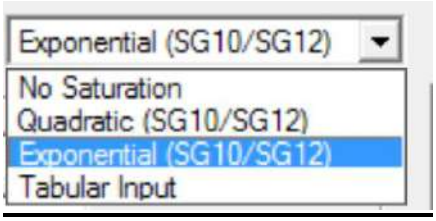
به این نکته توجه گردد که پارامترهای توضیح داده نشده در این بخش در قسمت‌های قبل بیان شده‌اند.

تب اشباع



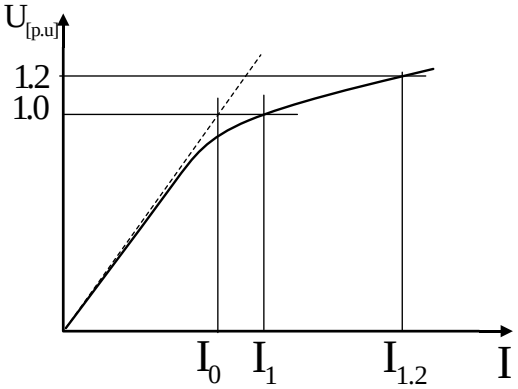
شکل (۲-۲۷): تنظیمات منحنی اشباع ژنراتور سنکرون

۱- در این قسمت مدل انتخابی پیاده‌سازی اشباع ژنراتور انتخاب می‌شود. بر اساس شکل زیر، این گزینه چهار مورد انتخابی دارد: بدون اشباع، مدل‌سازی اشباع با تابع جبری درجه دو، مدل‌سازی با تابع نمایی و استفاده از جدول برای وارد نمودن اطلاعات منحنی اشباع



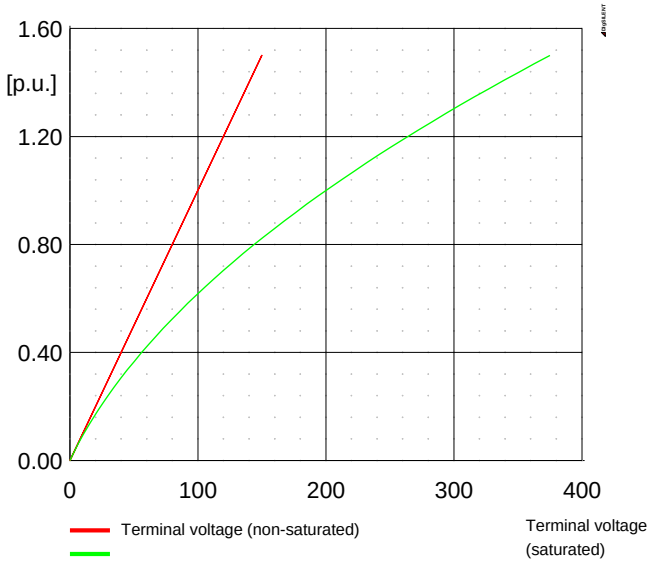
شکل (۲-۲۸): معادله مشخص کننده اشباع

در دو نوع مدل‌سازی بر اساس معادله درجه دو و نمایی از دو نقطه به شکل زیر استفاده می‌شود.



شکل (۲-۲۹): یک منحنی اشباع نمونه

در شکل (۲-۲۹) منحنی مغناطیس شوندگی برای یک فاصله هوایی به صورت نقطه چین نشان داده شده است. با افزایش جریان تحریک، منحنی مغناطیس شوندگی ژنراتور از حالت ایده‌آل خارج شده و به ازای ولتاژ ترمینال یکسان، منحنی اشباع جریان بیشتری نسبت به منحنی خطی دارد. نمونه‌ای از منحنی اشباع را می‌توان در شکل (۲-۳۰) مشاهده نمود:

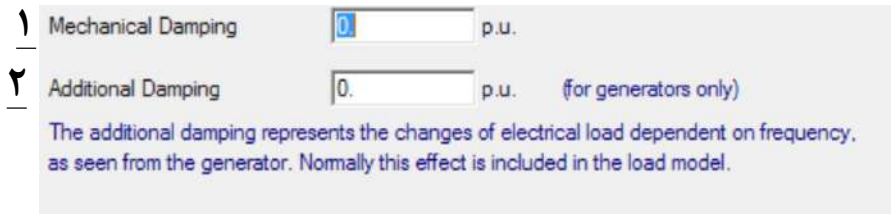


شکل (۲-۳۰): معادله اشباع خروجی نرم‌افزار

۲و۳- در این دو قسمت، مقدار جریان تحریک در دو ولتاژ مختلف وارد می‌شود.

تب دمپینگ[1]

تنظیمات دمپینگ ژنراتور سنکرون در نرم‌افزار، در شکل (۲-۳۱) نشان داده شده است. مطابق این شکل داریم:



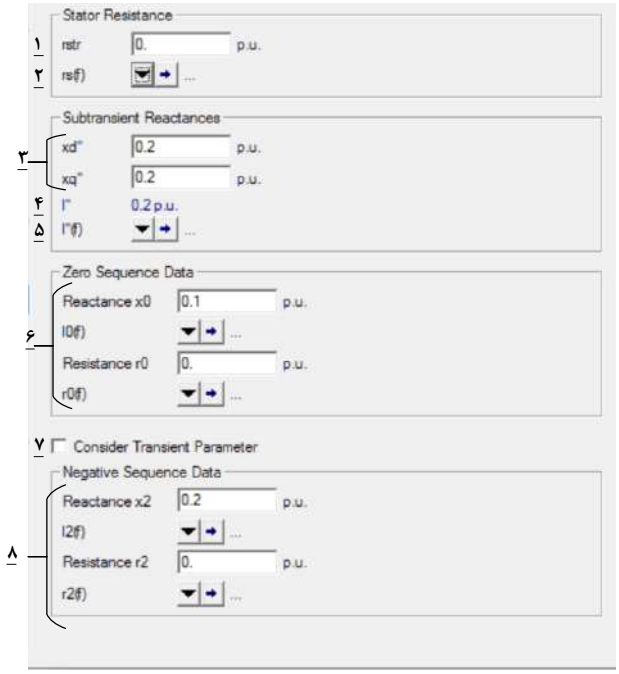
شکل (۲-۳۱): تنظیمات دمپینگ ژنراتور سنکرون

۱- در این قسمت میرایی مکانیکی ژنراتور تعیین می‌شود.

۲- یک دمپینگ اضافه که نماینده بارهای وابسته به فرکانس هستند که از سمت ژنراتور به صورت یک دمپینگ دیده می‌شوند. به طور معمول این تاثیر در مدل بار قرار داده شده است.

صفحه مطالعات هامونیکی و کیفیت توان

تنظیمات کیفیت توان و هارمونیکی ژنراتور سنکرون در نرم‌افزار، در شکل (۲-۳۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۳۲): تنظیمات کیفیت توان و هارمونیک بخش تایپ ژنراتور سنکرون

[1] Damping

۱- در این قسمت مقدار مقاومت استاتور ژنراتور به صورت پریونیت وارد می‌شود. در صورت وارد شدن این مقدار در صفحات دیگر، این قسمت به طور خودکار تکمیل می‌گردد.

۲- در این قسمت، مشخصه تغییرات مقاومت استاتور نسبت به تغییرات فرکانس مشخص می‌شود. این تغییر را می‌توان با جدول یا یک معادله بر حسب مقاومت و فرکانس مشخص نمود.

۳- اگر گزینه Consider Transient Parameter فعال نباشد، مقادیر امپدانس زیر گذرای استاتور در قاب مرجع q-d مشخص می‌شود. در این قسمت نیز مانند مقاومت استاتور، در صورت وارد کردن این مقادیر در صفحات دیگر، لازم به وارد کردن اطلاعات در این صفحه نیست. در صورت فعال بودن این گزینه باید توجه داشت که تخمین استفاده از حالت گذرا در این قسمت، در محدوده باریکی از تغییرات فرکانس قابل قبول است.

۴- مقدار سلف معادل با میانگین گیری از دو مقدار پریونیت قسمت قبل، مشخص می‌شود.

۵- مشخصه تغییرات اندوکتانس بر حسب تغییرات فرکانس به صورت جدول یا معادله بر حسب اندوکتانس و فرکانس مشخص می‌شود.

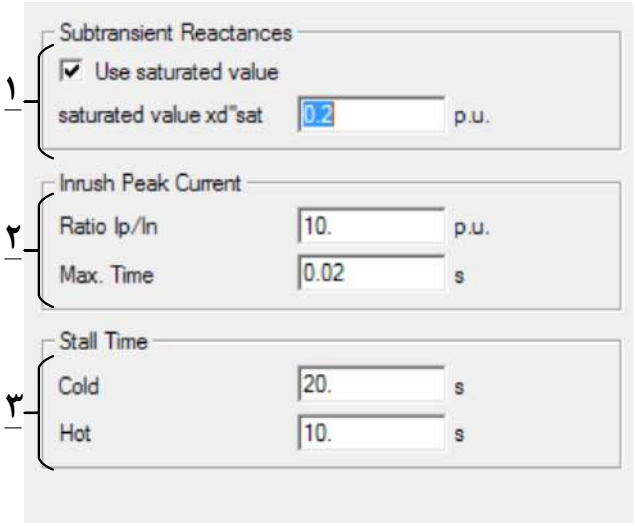
۶- برای مشخصات توالی صفر نیز در مورد هر کدام از پارامترهای اندوکتانس یا مقاومت، یک مقدار اولیه بر حسب پریونیت در فرکانس اصلی وارد می‌شود و سپس مشخصه تغییرات پارامتر نسبت به فرکانس انتخاب می‌شود.

۷- در نظر گرفتن پارامترهای گذرا

۸- در صورت انتخاب گزینه قبلی، لازم است مشخصه مقاومت و راکتانس توالی منفی بر حسب فرکانس وارد گردد.

صفحه حفاظت

پنجره تنظیمات حفاظتی ژنراتور سنکرون به‌صورت شکل (۲-۳۳) است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۳۳): تنظیمات حفاظتی بخش تایپ ژنراتور سنکرون

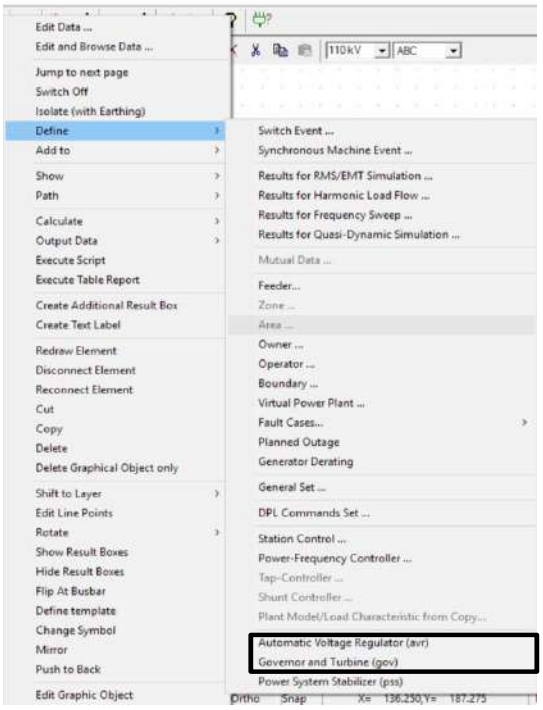
۱- در این قسمت با انتخاب گزینه 'Use saturated value' مقدار امپدانس زیرگذرا در حالت اشباع هسته وارد می‌شود.

۲- در این قسمت مقدار ماکزیمم جریان استارت نسبت به جریان نامی و زمان ماکزیمم شدن جریان راه‌اندازی، تنظیم می‌شود.

۳- مدت زمانی که ژنراتور با بیشترین جریان کار کرده و دچار آسیب فیزیکی نشود در این بخش مشخص می‌گردد. این مقدار به ازای دو حالت سرد و گرم وارد می‌شود که مقدار گرم باید از مقدار سرد کمتر باشد.

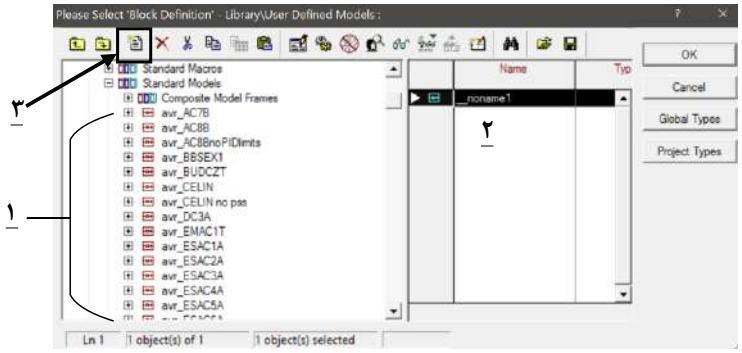
۲-۱-۳- مدل‌سازی ادوات کنترلی گاورنر و AVR برای ژنراتور سنکرون

برای مدل‌سازی ادوات کنترلی لازم است که همانند شکل زیر با انتخاب ژنراتور سنکرون و وارد شدن به منوی Define المان کنترلی مورد نظر را انتخاب کرد.



شکل (۲-۳۴): تعریف ادوات کنترلی برای ژنراتور سنکرون

با انتخاب یکی از این دو المان نشان داده شده در شکل (۲-۳۴) پنجره زیر باز شده و می‌توان از مدل‌های استاندارد از پیش طراحی شده در نرم‌افزار استفاده نموده و یا با استفاده از زبان مدل‌سازی DSL (DIgSILENT Simulation Language) المان کنترلی جدید تعریف نمود. مطابق شکل (۲-۳۵) برای مدل‌سازیAVR ژنراتور سنکرون داریم:



شکل (۲-۳۵): انتخاب یک AVR از پیش طراحی شده برای ژنراتور

۱- این قسمت تعدادی از مدل‌های استاندارد موجود در نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

۲- یک مدل طراحی شده توسط کاربر را نشان می‌دهد.

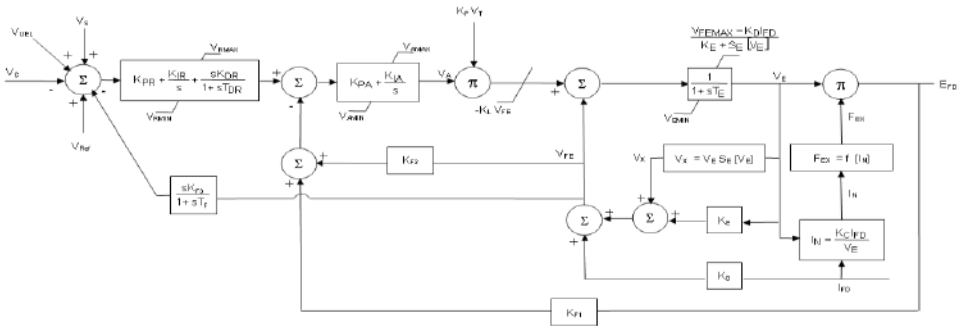
۳- با انتخاب این گزینه می‌توان یک مدل جدید برای کنترل کننده مورد نظر ایجاد نمود.

حال با انتخاب یکی از AVRهای موجود در کتابخانه پیش فرض نرم‌افزار (AVR-AC7B) براساس شکل (۲-۳۶) که پارامترهای مورد نیاز برای پیاده‌سازی AVR را نشان می‌دهد، می‌توان این AVR را که نمودار بلوکی آن در (۲-۳۷) نشان داده شده است، با استفاده از DSL به صورت شکل (۲-۳۸) پیاده‌سازی نمود.

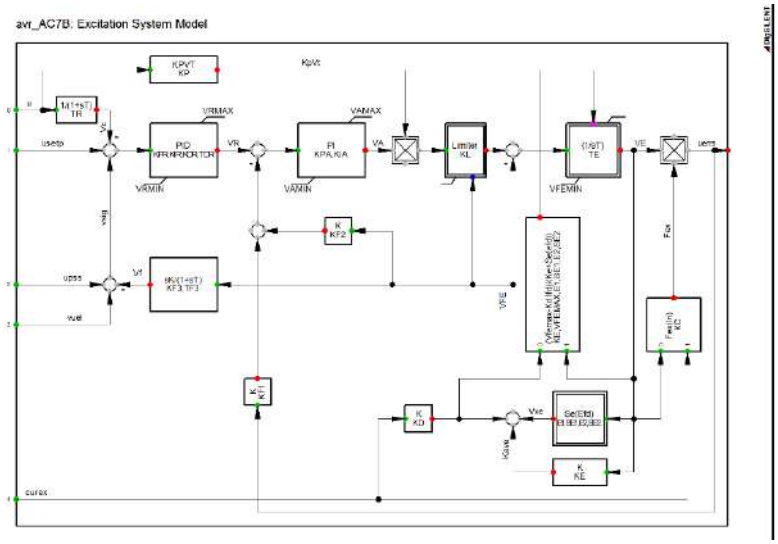
Name: Common Model
Model Definition: \Library\Standard Models\avr_AC7B
Out of Service A-stable integration algorithm

	Parameter
TR Voltage transducer time const [s]	0.
KPR Voltage regulator proportional gain [ ]	0.
KIR Voltage regulator integral gain [ ]	0.
KDR Voltage regulator differential gain [ ]	0.
TDR Voltage regulator differential time constant [s]	0.
KPA Field current loop proportional gain [ ]	0.
KIA Field current loop integral gain [ ]	0.
KF3 Field current stabilising feedback gain [ ]	0.
TF3 Field current stabilising feednack time constant [pu]	0.
E1 Field Voltage for SE1 [pu]	0.
SE1 Saturation at E1 [pu]	0.
E2 Field Voltage for SE2 [pu]	0.
SE2 Saturation at E2 [pu]	0.
KL Current loop limitation factor [pu]	0.
KE Exciter droop [pu]	0.
KF2 Exciter field current feedback gain [ ]	0.
KD Demagnetising factor [pu]	0.

شکل (۲-۳۶): مشخصات قابل تنظیم یک مدل AVR

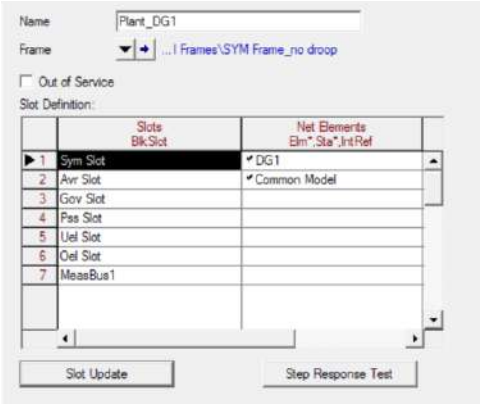


شکل (۲-۳۷): بلوک دیاگرام AVR مدل AC7B



شکل (۲-۳۸): بلوک دیاگرام AVR AC7B در نرم‌افزار

بعد از انتخاب مدل مورد نظر برای ژنراتور صفحه زیر باز شده که در واقع مجموع ژنراتور و ادوات کنترلی آن همانند یک نیروگاه نشان داده می‌شود.



شکل (۲-۳۹): واحد نیروگاهی تعریف شده با ژنراتور سنکرون و AVR

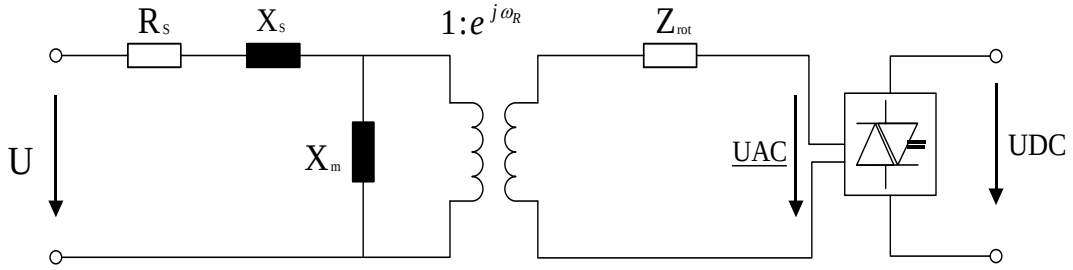
همان طور که مشاهده می‌شود در بخش اول مدل سیستم (ژنراتور سنکرون) مشخص شده و بخش دیگر مربوط به المان‌های کنترلی سیستم می‌باشد. گزینه Step Response Test مربوط به ایجاد یک آزمون برای بررسی عملکرد سیستم‌های کنترلی تعبیه شده، است.

۲-۲-توربین بادی با ژنراتور القایی تغذیه دوگانه (Doubly-Fed (Induction Generator

۲-۲-۱- توصیف کلی

ژنراتور القایی تغذیه دوگانه (DFIG[1]) یک ماشین القایی حلقه لغزان با روتور کنترل شده است. مبدل PWM متصل به حلقه لغزان، دامنه و فاز ولتاژ روتور را کنترل می‌کند. بدین وسیله توان اکتیو و راکتیو خروجی DFIG را می‌توان کنترل نمود.

در شکل (۲-۴۰) مدل ماشین القایی تغذیه دوگانه نشان داده شده است. با توجه به این شکل، ماشین القایی تغذیه دوگانه با یک ترمینال AC و یک ترمینال DC مدل می‌شود. مدل ماشین القایی استفاده شده دقیقا یکسان با ماشین القایی استاندارد که شامل یک تقریب بسیار دقیق از Zrot و سه نردبان مدار R-L است، می‌باشد. در ادامه به نحوه مدل‌سازی این ژنراتور در نرم‌افزار DIgSILENT می‌پردازیم.

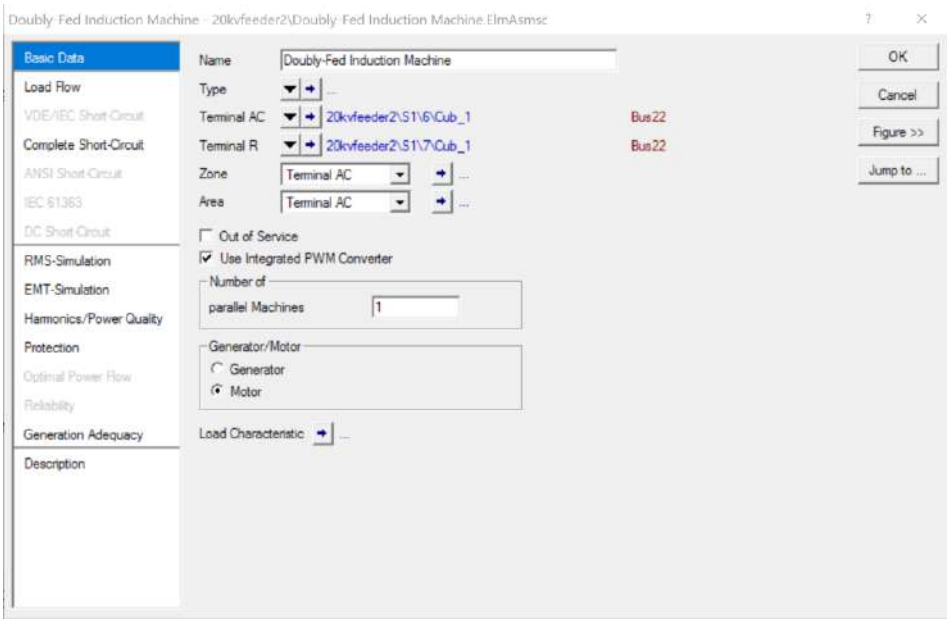


شکل (۲-۴۰): مدل مفهومی استفاده شده مولد DFIG درنرم‌افزار

۲-۲-۲-بخش المان

شمای کلی تنظیمات مربوط به بخش المان توربین بادی با ژنراتور القایی دوگانه در شکل (۲-۴۱) نشان داده شده است. در ادامه بخش‌های مختلف معرفی شده‌اند.

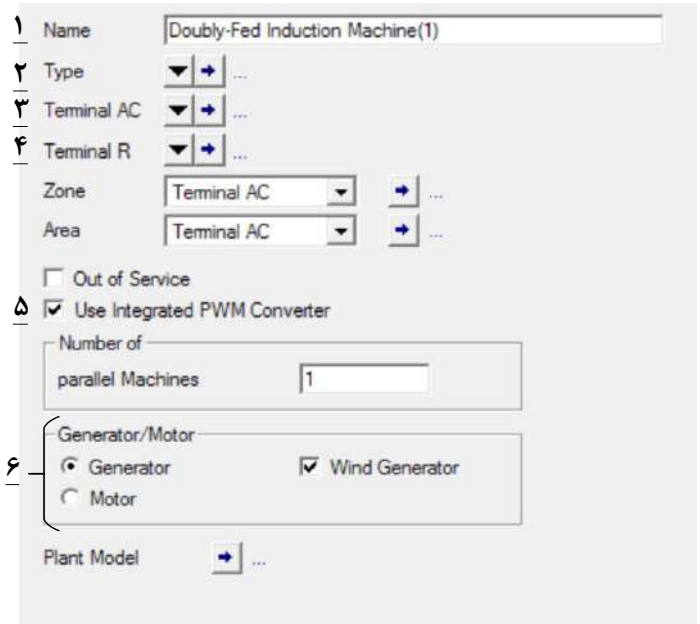
[1] Doubly Fed Induction Generator



شکل (۲-۴۱): شکل کلی بخش المان توربین بادی با ژنراتور القایی دوگانه

صفحه اطلاعات پایه

پنجره اطلاعات پایه مولد DFIG بصورت شکل (۲-۴۲) است.



شکل (۲-۴۲): پنجره اطلاعات عمومی بخش المان مولد DFIG

۱- نام تجهیز

۲- تایپ تجهیز

۳- ترمینال سه فاز خروجی استاتور

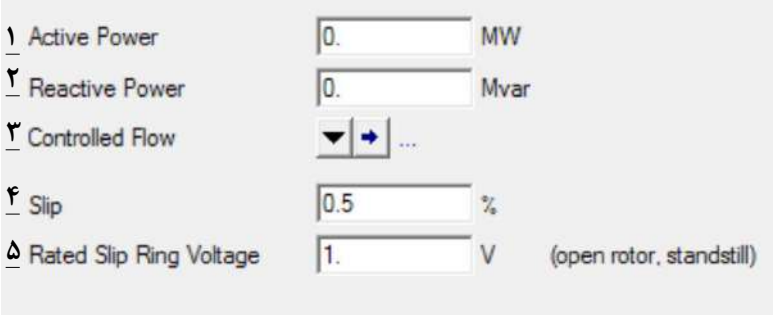
۴- ترمینال خروجی روتور

۵- در صورت انتخاب این گزینه، مولد همراه با یک مبدل درونی مدل‌سازی می‌شود و خروجی ترمینال آن DC می‌باشد. در غیر این صورت، باید یک مبدل جداگانه در خروجی روتور قرار داد. در نتیجه در این حالت، خروجی روتور سه فاز AC می‌باشد.

۶- مد کاری ماشین و همین طور در صورت انتخاب ژنراتور، تعیین مولد بادی بودن در این قسمت تعیین می‌شود.

صفحه پخش بار

شکل (۲-۴۳) صفحه پخش بار DFIG را نشان می‌دهد. در این صفحه داریم:



شکل (۲-۴۳): مشخصات بهره‌برداری پخش بار مولد DFIG

۱- توان اکتیو تولیدی مولد

۲- توان راکتیو تولیدی مولد

۳- کنترل شارش توان از یک کوبیکل[1]

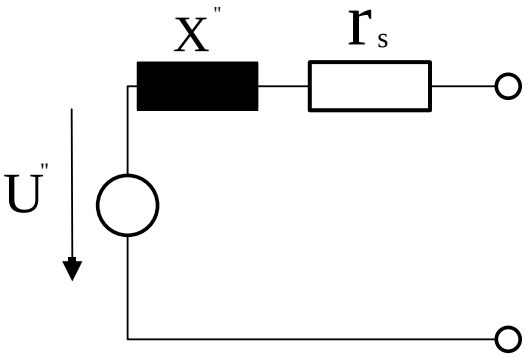
۴- مقدار لغزش در حالت کار دائم ژنراتور

۵- مقدار ولتاژ نامی حلقه لغزان در حالت روتور باز یا توقف

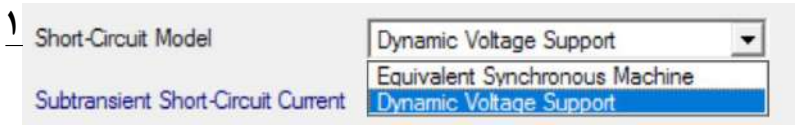
صفحه اتصال کوتاه

برای مطالعات اتصال کوتاه، ماشین القایی تغذیه دوگانه با فرض حالت زیرگذرا مدل می‌شود. قطع کاهش ولتاژ یا بای پس نمودن مبدل سمت روتور را نمی‌توان به صورت مستقیم در مدل زیر گذرا لحاظ کرد. در صورت بای پس روتور بصورت ایده آل به این معنی که راکتانس یا مقاومت اضافه‌ای نداشته باشد، مدل زیر گذرا همچنان قابل استفاده می‌باشد. مدار شکل زیر معادل حالت زیرگذرای است که برای مطالعات اتصال کوتاه استفاده می‌شود.

[1] Cubicle



شکل (۲-۴۴): مدل مفهومی مولد DFIG در حالت اتصال کوتاه



شکل (۲-۴۵): انتخاب مدار معادل DFIG در اتصال کوتاه

۱- در این قسمت می‌توان مدل استفاده شده در مطالعات اتصال کوتاه را انتخاب کرد.

با انتخاب Equivalent Synchronous Machine اطلاعات مورد نیاز به صورت زیر وارد می‌شود.

شکل (۲-۴۶): حداکثر جریان گذرا اتصال کوتاه

۱-۱- در این قسمت مقدار حداکثر جریان زیر گذرا مشخص می‌شود. این پارامتر رابطه مستقیمی با نسبت مقاومت به راکتانس زیر گذرا دارد.

با انتخاب Dynamic Voltage Support اطلاعات مورد نیاز به صورت زیر وارد می‌شود.

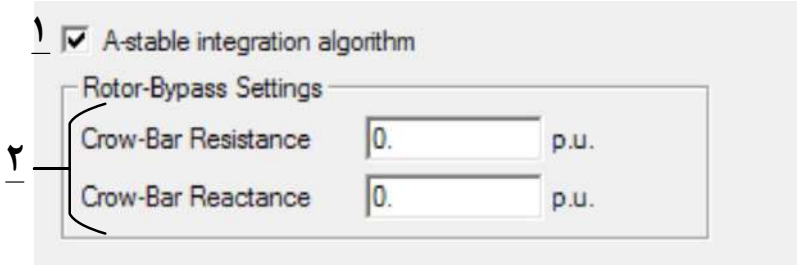
شکل (۲-۴۷): مشخصات لازمه مدل منبع ولتاژ دینامیک مولد DFIG

۱-۲- مقدار فاکتورk برای محاسبه بیشترین مقدار جریان اتصال کوتاه

۱-۳- حداکثر مقدار جریان اتصال کوتاه

صفحه اطلاعات مطالعاتRMS & EMT Simulation

برای مولد DFIG اطلاعات مربوط به مطالعات حالت گذرا در نرم‌افزار به صورت شکل (۲-۴۸) است. در این قسمت داریم:



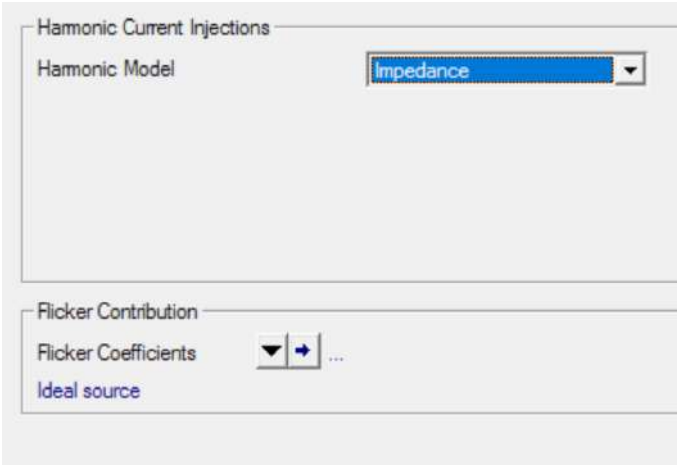
شکل (۲-۴۸): اطلاعات حالت گذرای بخش المان مولد DFIG

۱- با انتخاب این گزینه روش بهبود سازی به فرآیند انتگرال گیری اضافه می‌شود.

۲- در این قسمت مقدار مقاومت و راکتانس کروبار[1] برای بای پس کردن روتور تنظیم می‌شود.

صفحه اطلاعات مطالعات هارمونیکی و کیفیت توان

صفحه اطلاعات مطالعات کیفیت توان و هارمونیکی مولد DFIG در نرم‌افزار به صورت شکل (۲-۴۹) است.



شکل (۲-۴۹): اطلاعات کیفیت توان بخش المان مولد DFIG

اطلاعات مورد نیاز در این قسمت همانند اطلاعات مورد نیاز برای ژنراتور سنکرون می‌باشد. لذا از توضیح مجدد آنها خودداری می‌شود.

[1] Crow-bar

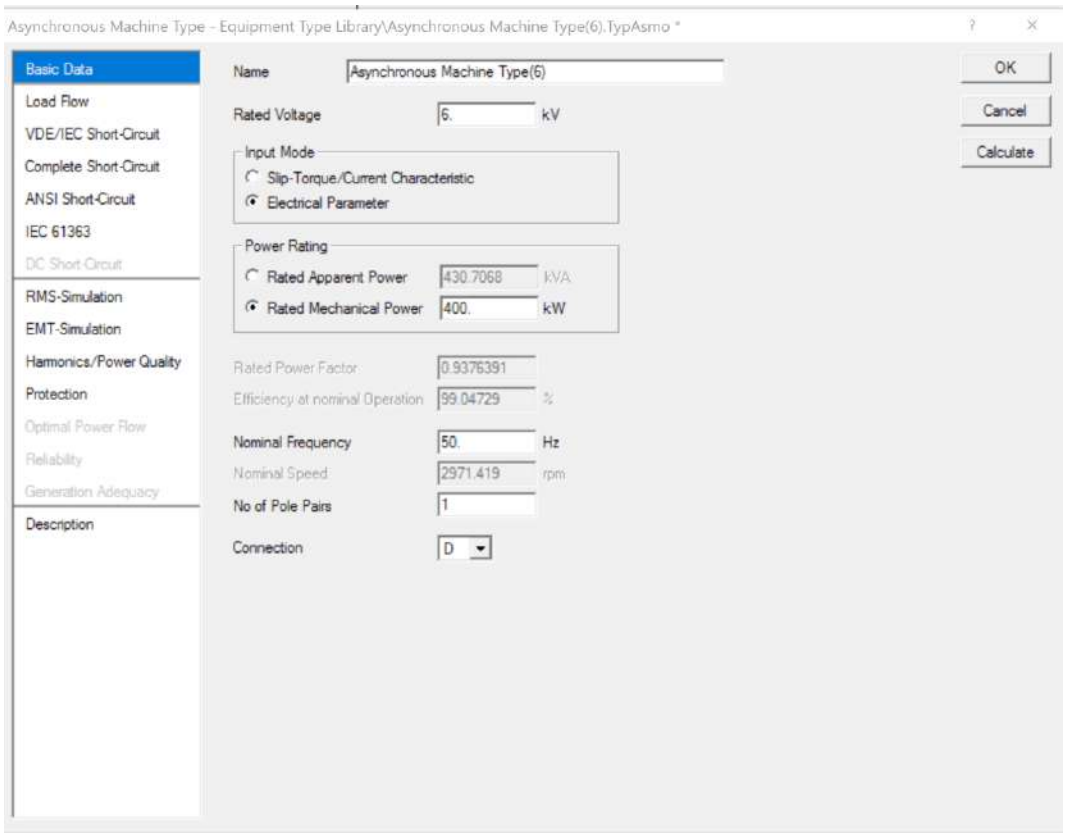
صفحه اطلاعات مطالعات حفاظتی

شکل (۲-۵۰): اطلاعات مورد نیاز حفاظتی بخش المان مولد DFIG

در این قسمت تنها نیاز به وارد کردن زمان راه‌اندازی مولد است.

۲-۲-۳- بخش تایپ

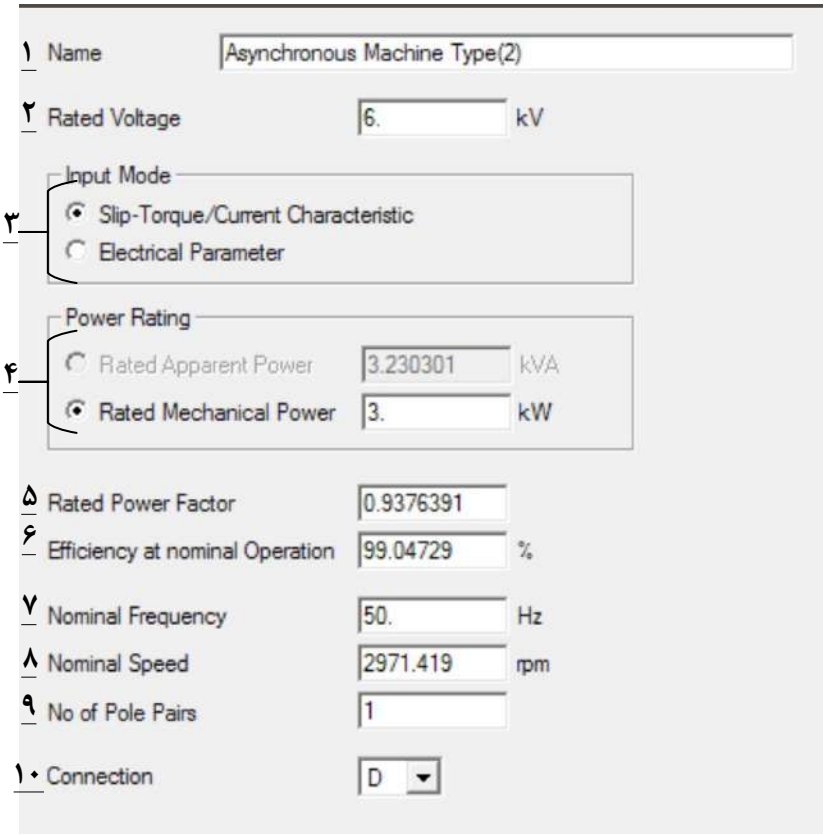
شمای کلی بخش تایپ توربین بادی با ژنراتور القایی تغذیه دوگانه در شکل (۲-۵۱) نشان داده شده است. در ادامه به معرفی بخش‌های مختلف پرداخته خواهد شد.



شکل (۲-۵۱): شمای کلی بخش تایپ توربین بادی با ژنراتور القایی دوگانه

صفحه اطلاعات عمومی

صفحه اطلاعات عمومی بخش تایپ مولد DFIG در نرم‌افزار به صورت شکل (۲-۵۲) است.



شکل (۲-۵۲): اطلاعات عمومی بخش تایپ مولد DFIG

۱- نام تایپ مورد نظر

۲- ولتاژ نامی مولد DFIG

۳- در این قسمت دو حالت ورود اطلاعات مکانیکی(Slip- Torque/Current Characteristic) یا الکتریکی (Electrical Parameter) وجود دارد. در هر کدام از این حالت‌ها بعضی از مکان‌های ورود داده‌ها غیر فعال می‌شود.

۴- توان نامی مکانیکی یا الکتریکی مولد DFIG

۵- مقدار ضریب توان نامی مولد

۶- بازده مولد در شرایط کار نامی

۷- فرکانس نامی مولد

۸- سرعت مولد در شرایط کار نامی

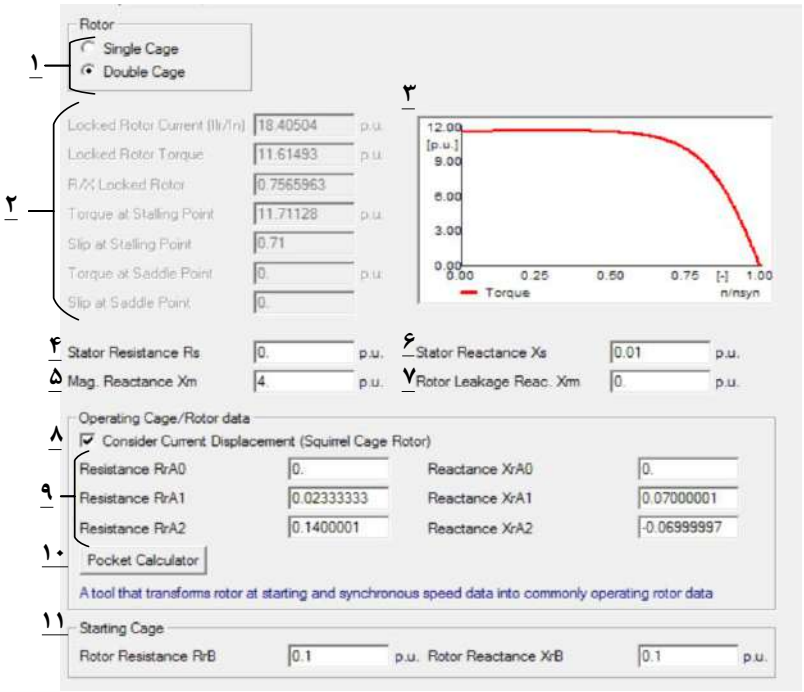
۹- تعداد زوج قطب‌های مولد

۱۰- نوع اتصال سیم پیچی‌های مولد

صفحه اطلاعات پخش بار

تب اطلاعات عمومی

اطلاعات عمومی قسمت پخش بار مولد DFIG در نرم‌افزار بصورت شکل (۲-۵۳) است. در این بخش داریم:

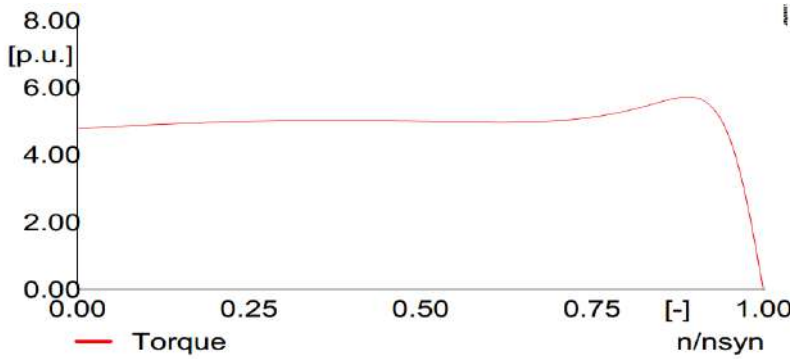


شکل (۲-۵۳): اطلاعات عمومی پخش بار بخش تایپ مولد DFIG

۱- در این قسمت تعداد قفس‌های روتور مشخص می‌شود. در واقع قفس دوم برای راه‌اندازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- مشخصات درج شده در این قسمت غیر فعال می‌باشد و با تنظیم مشخصات الکتریکی اعم از نوع مولد (یک قفسه- دو قفسه) و مقاومت‌ها و راکتانس‌ها به دست می‌آیند.

۳- مشخصه گشتاور سرعت ژنراتور بنا بر اطلاعات وارده در این قسمت وارد می‌شود.



شکل (۲-۵۴): مشخصه گشتاور نسبت به سرعت ژنراتور در مولد DFIG

۴- مقاومت استاتور برحسب پریونیت در این قسمت وارد می‌شود.

۵- راکتانس مغناطیس کنندگی بر حسب پریونیت در این قسمت وارد می‌شود.

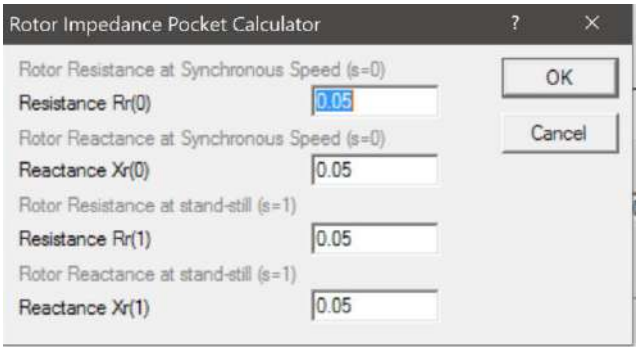
۶- راکتانس استاتور بر حسب پریونیت در این قسمت وارد می‌شود.

۷- راکتانس معادل شار نشتی بر حسب پریونیت در این بخش وارد می‌شود.

۸- با انتخاب این گزینه جابه‌جایی جریان‌ها (روتور قفس سنجابی) لحاظ می‌شود.

۹- با انتخاب گزینه قبل اطلاعات مربوط به روتور از یک مقاومت و راکتانس ساده به سه دسته مقاومت و راکتانس مولفه‌های متقارن مختلف تبدیل می‌شود.

۱۰- در صورت انتخاب گزینه ۸ و همینطور در دسترس نبودن اطلاعات مقاومت و راکتانس توالی‌های متقارن روتور، می‌توان با انتخاب این گزینه و باز شدن پنجره‌ای مطابق شکل (۲-۵۵) که بر حسب اطلاعات مقاومت و راکتانس مولفه مثبت روتور در دو حالت کار با سرعت سنکرون و سرعت صفر است، پارامترهای توالی‌های مثبت، منفی و صفر جریان را تنظیم نمود.

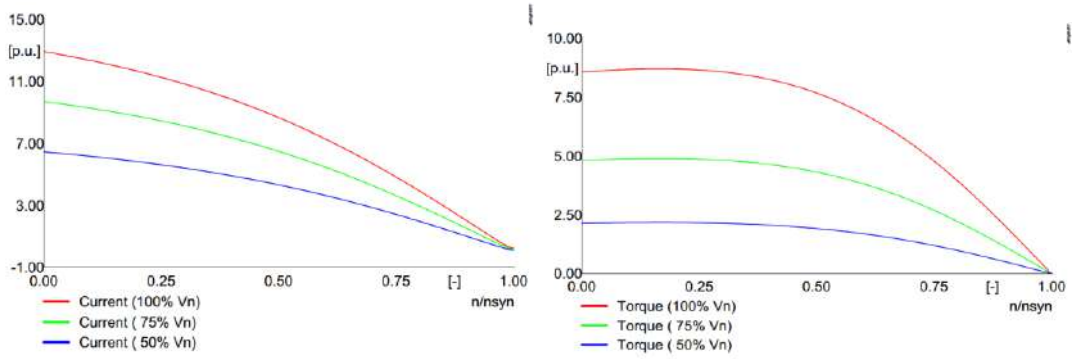


شکل (۲-۵۵): اطلاعات عمومی پخش بار مورد نیاز بخش تایپ مولد DFIG

۱۱- در صورت انتخاب قفس دوبل، مقاومت و راکتانس مربوط به آن، در این قسمت وارد می‌شود.

بخش تنظیمات پیشرفته

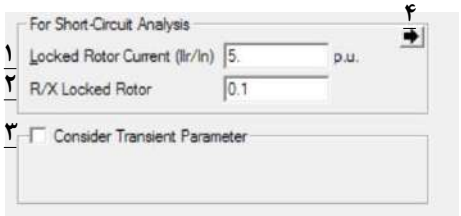
در این قسمت با توجه به اطلاعات وارد شده در قسمت قبل، منحنی‌های گشتاور-سرعت و جریان-سرعت، رسم می‌شود. همچنین با انتخاب امکان Export Torque-Speed Characteristic to Clipboard می‌توان با تعیین ولتاژ دلخواه، مشخصه گشتاور-سرعت در ولتاژ ورودی دلخواه را استخراج نمود.



شکل (۲-۵۶): نمودارهای گشتاور و جریان بر حسب سرعت بر واحد مولد DFIG

صفحه مطالعات اتصال کوتاه

تنظیمات مطالعات اتصال کوتاه بخش تایپ مولد DFIG در نرم‌افزار در شکل (۲-۵۷) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



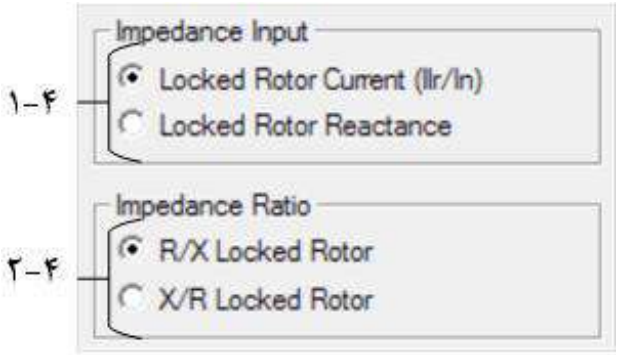
شکل (۲-۵۷): تنظیمات مطالعات اتصال کوتاه بخش تایپ مولد DFIG

۱- نسبت جریان روتور قفل شده به جریان نامی در این قسمت وارد می‌شود.

۲- نسبت مقاومت به راکتانس در حالت روتور قفل شده در این قسمت وارد می‌شود.

۳- با انتخاب این گزینه از مقادیر گذرا به جای پارامترهای ذکر شده در قسمت‌های ۱ و ۲ استفاده می‌شود.

۴- با انتخاب این بخش، پارامترهای جایگزین همانند شکل (۲-۵۸) قابل انتخاب هستند. در این شکل داریم:



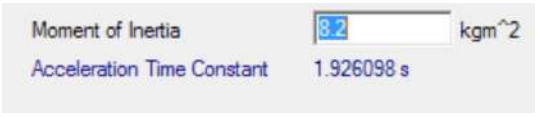
شکل (۲-۵۸): پارامترهای جایگزین مشخصات اتصال کوتاه بخش تایپ مولد DFIG

۴-۱- در این قسمت می‌توان نسبت جریان روتور قفل شده به جریان نامی و یا مقدار راکتانس روتور قفل شده را انتخاب نمود.

۴-۲- در این قسمت می‌توان، نسبت مقاومت به راکتانس در حالت روتور قفل شده یا برعکس را انتخاب نمود.

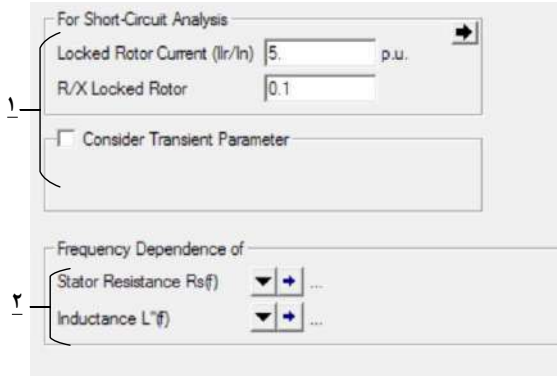
مطالعات RMS & EMT Simulation

اطلاعات مورد نیاز در این قسمت تماما مشابه اطلاعات صفحه پخش بار می‌باشد. با این تفاوت که همانند شکل زیر به ممان اینرسی ژنراتور برای محاسبه ثابت زمانی شتاب گیری ژنراتور نیاز است.



شکل (۲-۵۹): پارامتر مورد نیاز حالت گذرای بخش تایپ مولد DFIG

مطالعات هارمونیکی و کیفیت توان

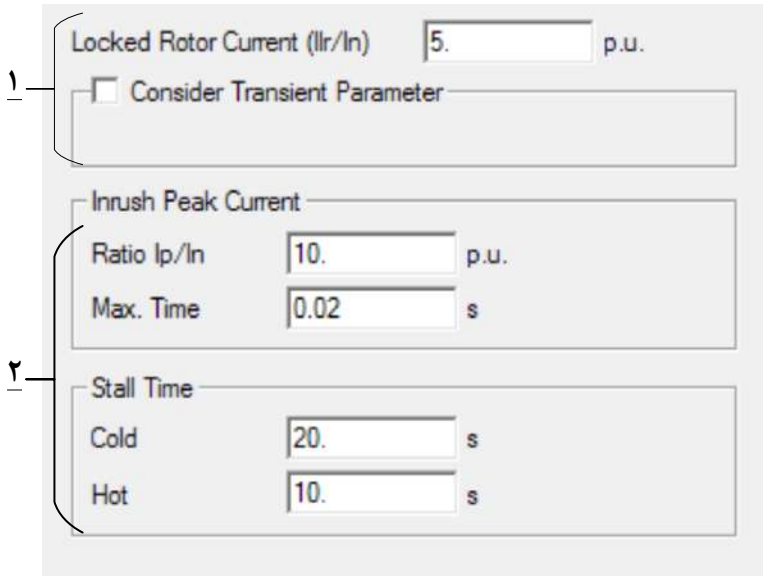


شکل (۲-۶۰): پارامترمورد نیاز کیفیت توان بخش تایپ مولد DFIG

۱- اطلاعات مورد نیاز در این قسمت عیناً مشابه اطلاعات بخش اتصال کوتاه است. بنابراین از بیان آنها صرف نظر می‌شود.

۲- می‌توان در این قسمت، مشخصات مقاومت استاتور و اندوکتانس حالت زیرگذرا را بر حسب تغییرات فرکانس تعیین نمود.

صفحه اطلاعات حفاظتی



شکل (۲-۶۱): پارمترهای حفاظتی مورد نیاز بخش تایپ مولد DFIG

۱- اطلاعات این قسمت مشابه اطلاعات مورد نیاز در صفحه اتصال کوتاه است. بنابراین از بیان آن صرف نظر می‌شود.

۲- اطلاعات مورد نیاز در این قسمت مشابه اطلاعات شرح داده شده برای مولد سنکرون است. بنابراین از بیان مجدد آنها خودداری می‌شود.

۲-۳- توربین بادی (Full Converter)

۲-۳-۱- توصیف کلی

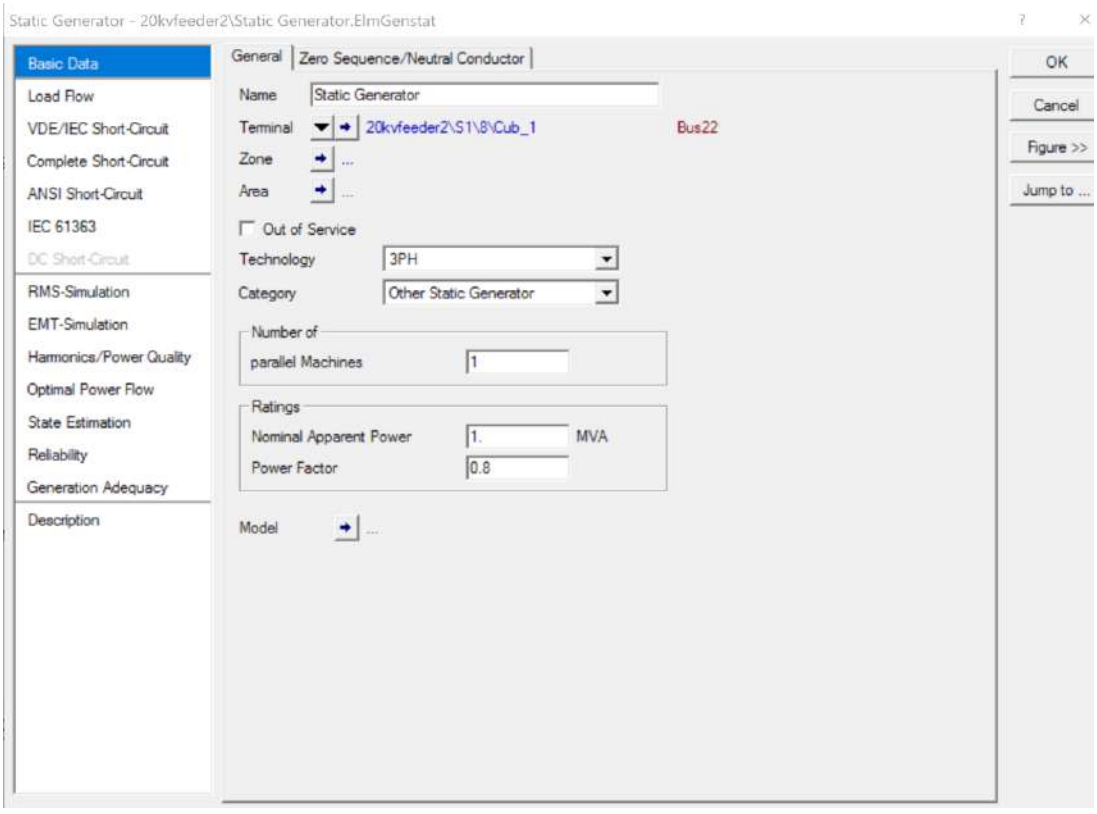
این نوع توربین بادی توسط یک مبدل با ظرفیت مشابه توربین به شبکه متصل می‌شود. از نقطه نظر شبکه، توربین به صورت یک واحد مبدلی ثابت به شبکه متصل شده است. برخی ملاحظات و فواید این نوع از مولدهای بادی عبارتند از:

- امکان استفاده از ژنراتور القایی قفس سنجابی، ژنراتور سنکرون با تعداد قطب بالا یا ژنراتور سنکرون آهنربای دائم (امکان حذف گیربکس در ژنراتور با تعداد قطب بالا)
- ظرفیت اینورتر باید بر اساس ظرفیت نامی ژنراتور انتخاب شود (قابلیت بیشتر در کنترل توان راکتیو در صورت انتخاب ظرفیت بالاتر).
- توربین در سرعت بهینه خود گردش می نماید.
- قابلیت مناسب LVRT[1] و کنترل کامل میزان مشارکت در جریان اتصال کوتاه شبکه

مدل استفاده شده برای این مولد بادی مدلی جامع است که برای تمام مولدهای که با مبدل به شبکه متصل می‌گردند، استفاده می‌شود. در نرم‌افزار این تجهیز بخش تایپ ندارد و تمام اطلاعات مورد نظر در بخش المان قرار می‌گیرند.

۲-۳-۲- بخش المان

شمای کلی بخش المان توربین بادی با مبدل نامی در نرم‌افزار در شکل (۲-۶۲) نشان داده شده است.

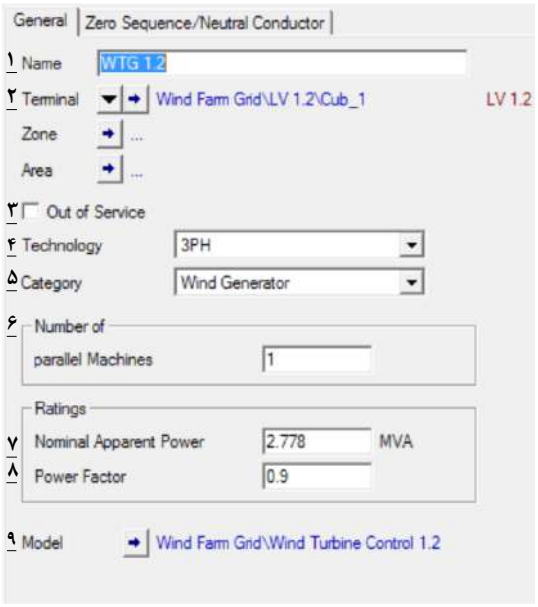


شکل (۲-۶۲): شکل کلی بخش المان توربین بادی با مبدل نامی

[1] Low Voltage Ride Through

اطلاعات کلی

شکل (۲-۶۳) پارامترهای عمومی مولد با اینورتر نامی را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۶۳): پارامترهای عمومی مولد بادی با اینورتر نامی

۱- نام تجهیز مشخص می‌شود.

۲- ترمینال متصل به آن مشخص می‌شود.

۳- خارج از سرویس بودن تجهیز مشخص می‌شود.

۴- نوع تکفاز یا سه فاز بودن و همچنین وجود نول و زمین را مشخص می‌گردد.

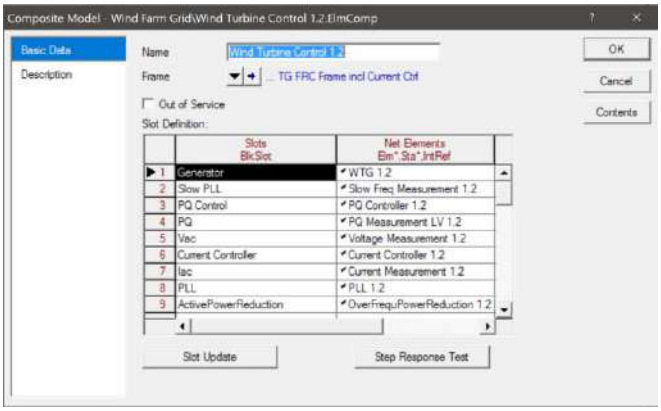
۵- دسته بندی مولدی که پیاده‌سازی می‌شود، مشخص می‌شود. در اینجا باید بر روی Wind Generator تنظیم شود.

۶- تمام مولدهای موازی شده با هم را مشخص می‌کند.

۷- مقدار توان ظاهری مولد را مشخص می‌کند.

۸- ضریب توان مولد را مشخص می‌کند.

۹- در این قسمت مدل کنترلی مولد مشخص می‌شود. برای مثال در شکل زیر بلوک‌های کنترلی استفاده شده برای این مدل نمایش داده شده است.

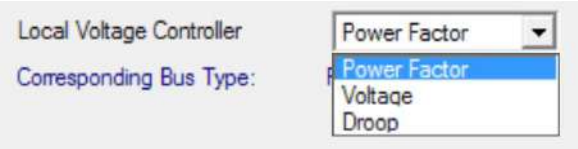


شکل (۲-۶۴): بلوک‌های کنترلی یک توربین بادی با اینورتر نامی

اطلاعات مورد نیاز برای سیستم زمین مولد در صورت انتخاب وجود زمین در قسمت ۴ همانند اطلاعات مورد نیاز برای مولد سنکرون می‌باشد.

صفحه اطلاعات پخش بار

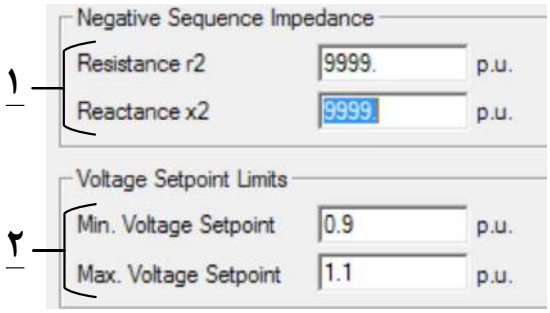
بخش اطلاعات کلی



شکل (۲-۶۵): انتخاب نوع کنترل کننده ولتاژ مولد بادی با اینورتر نامی

بیشتر اطلاعات مورد نیاز در این بخش با بخش ژنراتور سنکرون همسان بوده است و تنها تفاوت در این قسمت، نوع کنترل کننده ولتاژ محلی مولد بادی است. با انتخابPower Factor مولد به مد کنترلی PQ، تبدیل می‌شود و با انتخابVoltage به مد کنترلی PV تبدیل می‌شود. با انتخاب DV حالت مربوط به Droop Voltage فعال می‌شود. مولد می‌تواند برای کنترل ولتاژ در یک نقطه تعیین شده در ترمینال خود، مورد استفاده قرار بگیرد.

بخش تنظیمات پیشرفته



شکل (۲-۶۶): تنظیمات پیشرفته پخش بار مولد بادی با اینورتر نامی

۱- به طور پیش فرض مقاومت و راکتانس مولدهای متصل با استفاده از مبدل به شبکه، دارای امپدانس توالی منفی بینهایت و در نتیجه جریان مولفه منفی صفر هستند.

۲- در صورت انتخاب مد کنترل ولتاژ در حالت ولتاژ دروپ، حدود مجاز تنظیم ولتاژ مشخص می‌شود.

صفحه مطالعات اتصال کوتاه

استاندارد VDE/IEC

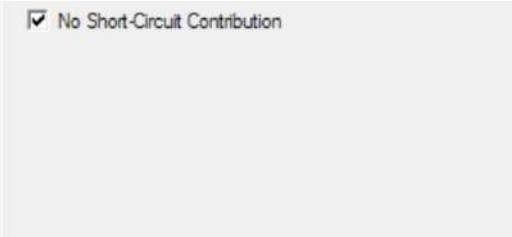
سه حالت مختلف برای در نظر گرفتن عملکرد مولد بر اساس استاندارد VDE/IEC وجود دارد.

۱- بدون مشارکت در اتصال کوتاه (با در نظر گرفتن استاندارد)

۲- مبدل ثابت تغذیه شده با درایو

۳- مشارکت حداکثری در خطا به صورت مجزا

۱- در محاسبه جریان اتصال کوتاه با توجه به استانداردIEC60909 ، از منابع دارای مبدل الکترونیک قدرت صرف نظر می‌شود .



شکل (۲-۶۷): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینوتر نامی حالت ۱

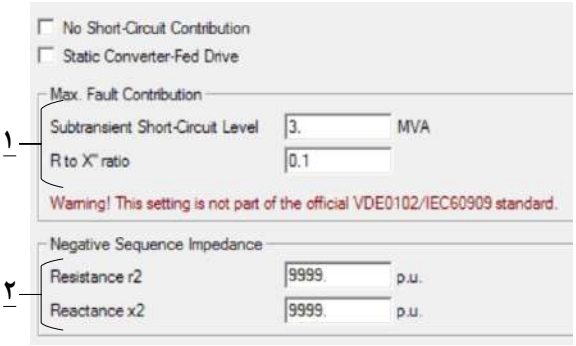
در این حالت هیچ پارامتری مورد نیاز نیست.

۲- با انتخاب این گزینه، مولد در محاسبات اتصال کوتاه بر اساس استاندارد VDE/IEC، همانند یک مبدل استاتیک تغذیه درایو بر اساس استاندارد IEC60909 (VDE 0102) عمل می‌کند. مبدل استاتیک تغذیه درایو تنها در خطاهای سه فاز در نظر گرفته می‌شود. مشارکت تجهیز محدود به مقدار اولیه جریان اتصال کوتاه متقارن و مقدار پیک جریان اتصال کوتاه می‌باشد.

شکل (۲-۶۸): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینورتر نامی حالت ۲

در اینجا نیز اطلاعاتی برای وارد کردن وجود ندارد.

۳- اگر هیچکدام از دو گزینه ذکر شده انتخاب نشوند، از این مدل برای مطالعات اتصال کوتاه استفاده می‌شود. در این بخش داریم:



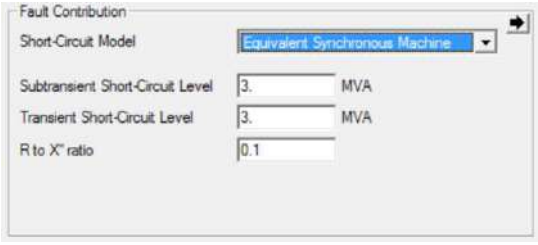
شکل (۲-۶۹): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینورتر نامی حالت ۳

۱- در این قسمت قدرت سطح اتصال کوتاه زیر گذرا و همینطور نسبت مقاومت به امپدانس زیر گذرا تنظیم می‌شود.

۲- مقادیر مقاومت و راکتانس مولفه منفی در این قسمت وارد می‌شود.

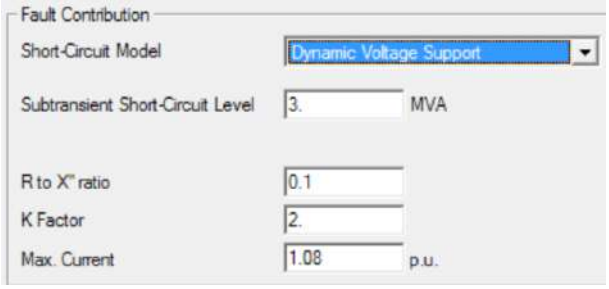
روش اتصال کوتاه کامل

در اینجا بنا بر مدل انتخابی برای محاسبات اتصال کوتاه، دو دسته از تنظیمات وجود خواهند داشت.



شکل (۲-۷۰): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینوتر نامی در روش اتصال کوتاه کامل در مدل ماشین سنکرون

✓ با انتخاب مدل مدل ماشین سنکرون نیاز به وارد کردن سطح اتصال کوتاه در دو حالت زیرگذرا و گذرا و همین طور نسبت مقاومت به راکتانس زیر گذرا می‌باشد.



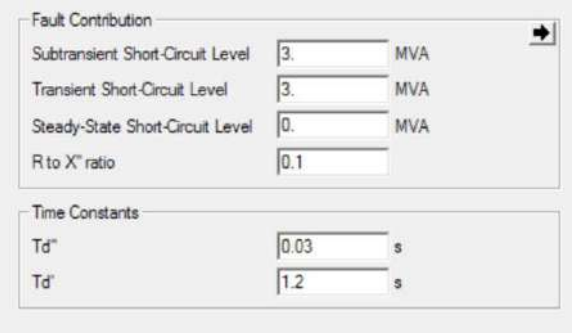
شکل (۲-۷۱): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینورتر نامی در روش اتصال کوتاه کامل در مدل منبع ولتاژ دینامیکی

✓ با انتخاب مدل منبع ولتاژ دینامیکی، تنها تفاوت با مدل قبلی در اطلاعات مورد نیاز k برای محاسبه حداکثر جریان و حداکثر مقدار جریان به صورت پریونیت است.

استاندارد ANSI

تمامی اطلاعات مورد نیاز در این قسمت در قسمت‌های قبلی شرح داده شده است.

استاندارد IEC61363

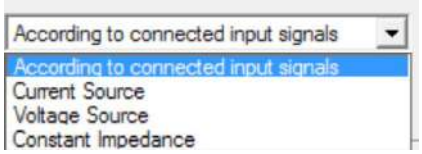


شکل (۲-۷۲): تنظیمات جریان اتصال کوتاه مولد بادی با اینورتر نامی در استاندارد IEC61363

اطلاعات مورد نیاز در این بخش شامل سطح اتصال کوتاه در سه حالت زیر گذرا، گذرا و ماندگار است. همین طور به نسبت مقاومت به راکتانس زیر گذرا و ثابت زمانی‌های مرتبط با حالات زیرگذرا و گذرا نیاز می‌باشد.

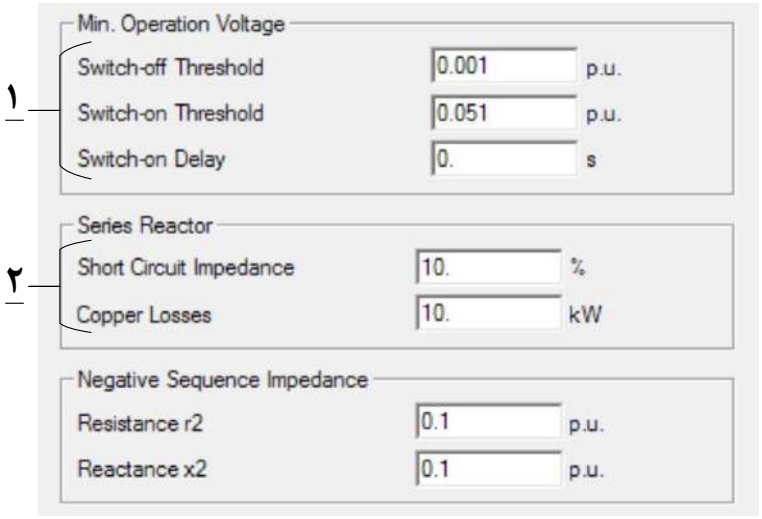
صفحه مطالعات RMS & EMT simulation

ابتدا در این قسمت لازم است مدل کنترلی مبدل را مشخص کرد.



شکل (۲-۷۳): مدل سازی منبع ورودی-مولد بادی با اینورتر نامی

در اینجا بنا بر سیگنال‌های کنترلی ورودی، می‌توان مولد را به صورت منبع جریان، ولتاژ و امپدانس مدل نمود. همچنین می‌توان این تصمیم را بر عهده نرم‌افزار گذاشت تا بر اساس سیگنالهای ورودی خود، مدل مناسب برای مولد را تعیین کند. شکل (۲-۷۴) تنظیمات لازم جهت انجام مطالعات حالت گذرا برای توربین بادی با اینورتر نامی را نشان می‌دهد.



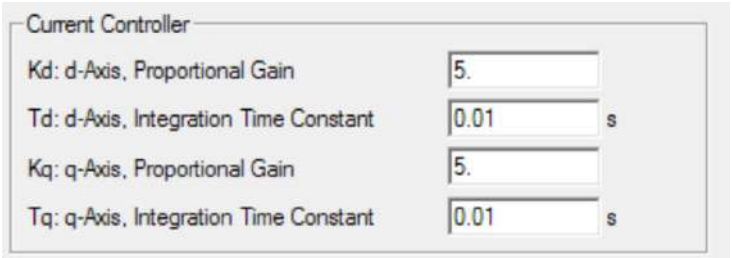
شکل (۲-۷۴): پارامترهای مورد نیاز برای مولد بادی با اینورتر نامی

۱- در این قسمت ولتاژ کاری حداقل مبدل الکترونیک قدرت برای عملیات روشن و خاموش شدن کلیدهای موجود در مولد و همین طور زمان تاخیر آنها مشخص می‌شود.

۲- در صورت وجود راکتور، مشخصات امپدانس اتصال کوتاه و تلفات مسی آن در این قسمت وارد می‌شود.

لازم به ذکر است بنا بر مدل انتخاب شده در قسمت قبل، بعضی از این پارامترها ممکن است ظاهر نشوند.

در بخشEMT-Simulation اطلاعات اضافی شامل پارامترهای کنترلی تناسبی و انتگرال گیر جریان در قاب مرجع q-d مطابق شکل (۲-۷۵) لازم است.



شکل (۲-۷۵): پارامترهای کنترلی مورد نیازمطالعات EMT-Simulation در مولد بادی با اینورتر نامی

صفحه مطالعات تحلیل هامونیکی و کیفیت توان

در این بخش مولد در مطالعات مرتبط با هامونیک و کیفیت توان به صورت یک منبع جریان مطابق با شکل (۲-۷۶) مدل می‌شود. در این شکل داریم:

شکل (۲-۷۶): تنظیمات مرتبط با مطالعات کیفیت توان و هارمونیک مولد بادی با اینورتر بادی

۱- در این قسمت مقدار هارمونیک‌های منبع جریان همانند روش مشابه توضیح داده شده برای ژنراتور سنکرون در سه حالت متعادل، نامتعادل و بر اساس استاندارد IEC61000 مشخص می‌شود. گزینه دیگر در این قسمت انتخاب کردن مرجع درصد هارمونیک است که می‌تواند بر اساس هارمونیک اصلی و یا مقدار موثر جریان باشد.

۲- همانطور که گفته شد مولد در این گونه مطالعات به صورت منبع جریان مدل می‌شود. به همین دلیل مقاومت‌ها و راکتانس‌های مولفه‌های متقارن که به صورت یک عدد متناسب با فرکانس اصلی و یک مشخصه تغییرات نسبت به تغییرات فرکانس هستند، به فرم مقاومت و راکتانس مدار معادل نورتن مدل می‌شوند.

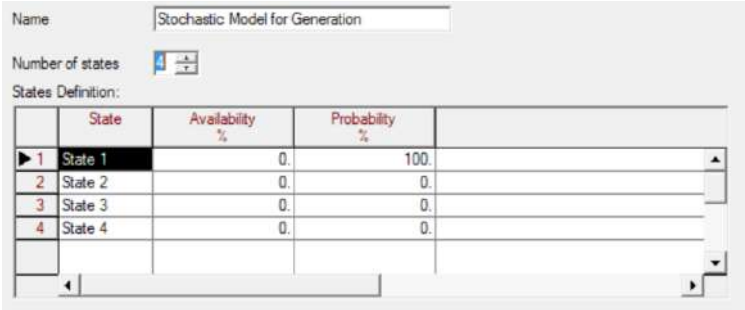
۳- این قسمت مشابه توضیحات ارائه شده در بخش مولد سنکرون است.

صفحه مطالعات General Adequacy

در این بخش ابتدا لازم است گزینه مدل کردن باد انتخاب شود. در غیر این صورت مقدار تولید واحد بادی در مطالعات Generation Adequacy لحاظ نمی‌شود. شکل (۲-۷۷) تنظیمات مربوط به حالت General Adequacy مولد بادی با اینورتر نامی را نشان می‌دهد.

شکل (۲-۷۷):تنظیمات مرتبط با مطالعات Generation Adequacyمولد بادی با اینورتر نامی

۱- در این قسمت مدل احتمالاتی کارکرد مولد مشخص می‌شود.

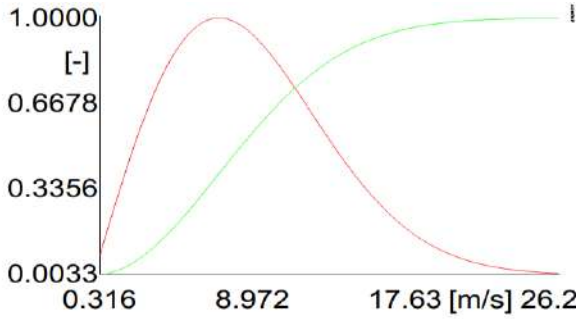


شکل (۲-۷۸): مدل در دسترس پذیری مولد بادی با اینورتر نامی

همانطور که در شکل (۲-۷۸) مشخص است، با تعریف حالت‌های مختلف و مشخص کردن میزان در دسترس بودن توان قابل بهره‌برداری(Availability) و میزان احتمال آن (Probability) می‌توان یک مدل احتمالاتی برای مولد ارائه داد. لازم به ذکر است که این روش ایجاد مدل احتمالاتی برای مولد سنکرون نیز قابل استفاده است.

۲- در این قسمت نوع مدل‌سازی باد مشخص می‌شود. با انتخاب گزینه اول، مدل احتمالاتی باد بر اساس تابع توزیع وی‌بول[1] انتخاب می‌شود. با انتخاب دو گزینه دیگر یک سری زمانی بر حسب زمان‌های بهره‌برداری با در نظر گرفتن سرعت باد یا میزان توان اکتیو تولیدی ایجاد می‌گردد.

۳- اگر در قسمت قبل نوع مدل‌سازی باد بر اساس تابع وی‌بول انتخاب شده باشد، در این بخش می‌توان با انتخاب پارامترهای مرتبط با تابع توزیع وی‌بول (که می‌توان نوع پارامترهای ورودی را نیز انتخاب کرد) منحنی‌های تابع توزیع تجمعی (زرد) و تابع چگالی احتمالی (قرمز) همانند شکل (۲-۷۹) ایجاد نمود.



شکل (۲-۷۹): منحنی-های مشخصه باد با توزیع وی-بول

۴- در این قسمت می‌توان منحنی توان اکتیو تولیدی مولد بر حسب سرعت باد را مشخص نمود.

۵- در صورت وجود چندین مولد بادی در این قسمت می‌توان ضریب همبستگی بین آنها را تعیین نمود.

۲-۴- مولد خورشیدی

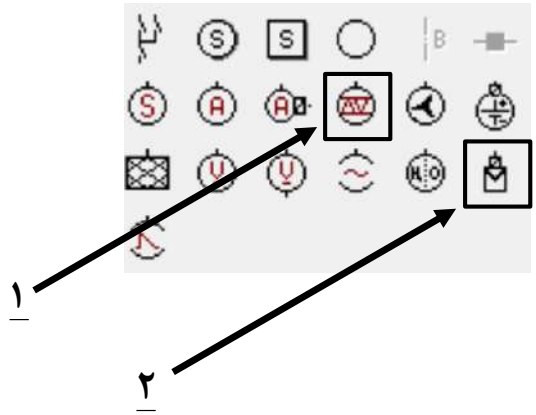
نیروگاه خورشیدی را می‌توان با استفاده از مدل‌های موجود در نرم‌افزار به دو صورت پیاده‌سازی نمود.

۱- استفاده از دسته Static Generator که به مدل‌سازی منابع مدل پراکنده و منابع تجدید پذیر می‌پردازد. در این حالت مدل‌سازی واحد خورشیدی تماما مشابه مدل‌سازی توربین بادی با اینورتر نامی می‌باشد.

[1] Weibull

۲- استفاده از مدل اختصاصی که لازمه استفاده از آن دریافت اطلاعات کامل واحد خورشیدی می‌باشد که در ادامه به تشریح اطلاعات مورد نیاز آن می‌پردازیم.

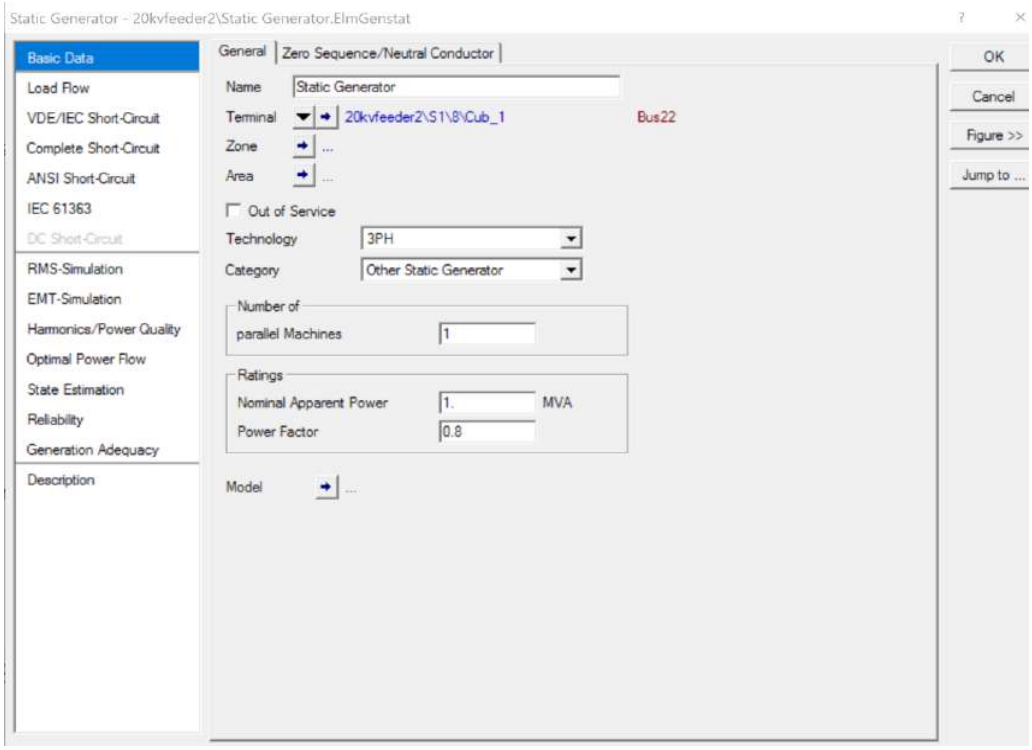
در شکل زیر دو نوع مدل ذکر شده نشان داده شده است. که در ادامه در رابطه با این مدل بحث خواهد شد.



شکل (۲-۸۰): انواع مدل مولد خورشیدی موجود در نرم‌افزار

۲-۴-۱- بخش المان

شکل کلی بخش المان مولد خورشیدی نوع دوم در شکل (۲-۸۱) نشان داده شده است. در ادامه به معرفی بخش‌های مختلف آن پرداخته خواهد شد.

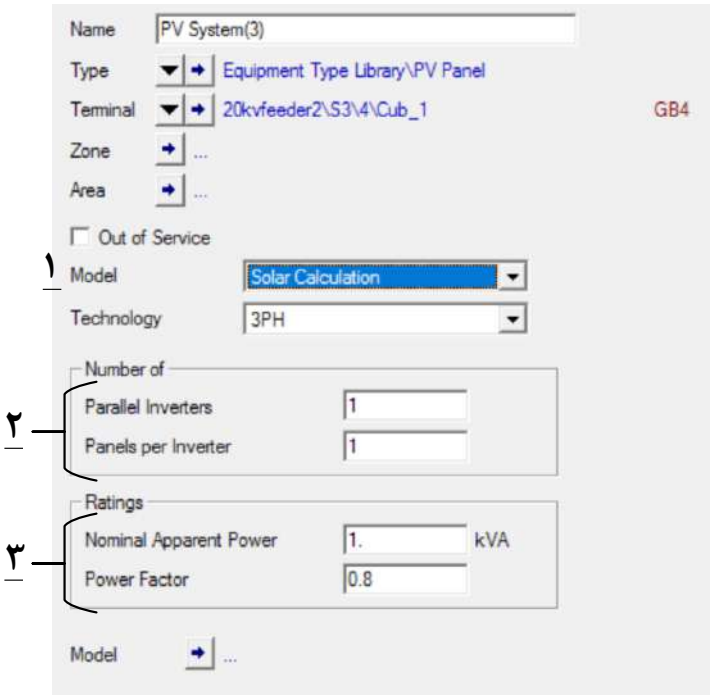


شکل (۲-۸۱): شکل کلی بخش المان مولد خورشیدی نوع دوم

صفحه اطلاعات پایه

تب اطلاعات عمومی

تنظیمات بخش عمومی مولد خورشیدی (مدل دوم) در شکل (۲-۸۲) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۸۲): مشخصات تب عمومی خورشیدی مدل دوم

۱- در این قسمت مدل انتخاب شده برای وارد کردن اطلاعات تعیین می‌شود. علاوه بر آن می‌توان مدل بر اساس محاسبات خورشیدی[1] را انتخاب نمود که در اینصورت توان تولیدی بر اساس اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی و نوع پنل‌های استفاده شده مشخص می‌شود و یا می‌توان مقدار خروجی توان اکتیو را به صورت مستقیم[2] وارد نمود.

۲- در این قسمت اطلاعات مربوط به تعداد مبدل‌های اینورتری و پنل‌های خورشیدی استفاده شده وارد می‌شود. امکان ورورد تعداد پنل‌ها در صورت انتخاب مدل بر پایه محاسبات خورشیدی وجود دارد.

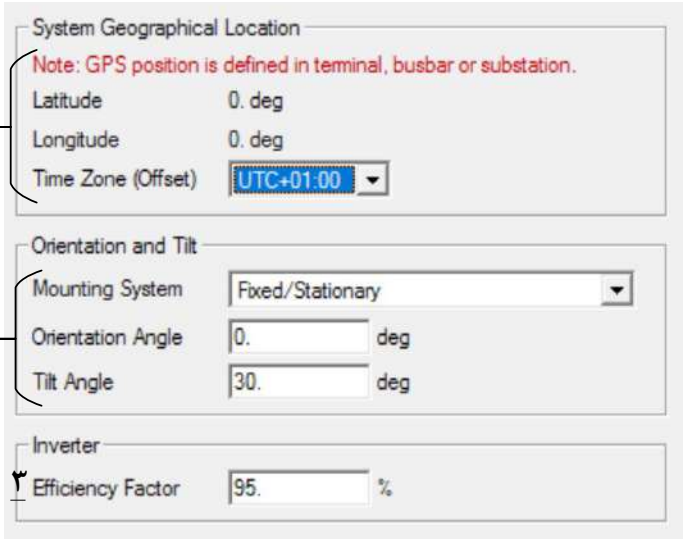
۳- در این قسمت اطلاعات توان و ضریب توان نامی را می‌توان وارد نمود.

[1] Solar Calculation

[2] Active Power Input

بخش پیکر بندی سیستم

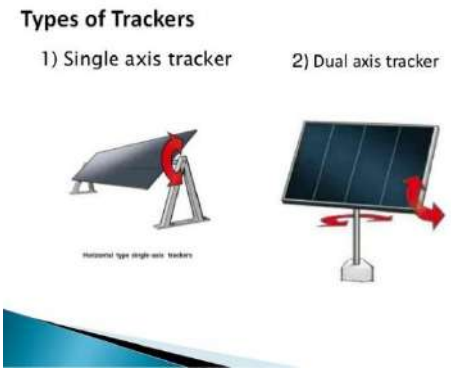
گزینه‌ها و اطلاعات این قسمت در صورت انتخاب مدل دوم (بر اساس محاسبات خورشیدی) بصورت شکل (۲-۸۳) ظاهر می‌شود.



شکل (۲-۸۳): تنظیمات مکان جغرافیایی و ساختاری واحد خورشیدی دوم

۱- در این قسمت اطلاعات جغرافیایی واحد خورشیدی نشان داده می‌شود. لازم به ذکر است، اطلاعات مربوط به عرض و طول جغرافیایی در مدل واحد خورشیدی مشخص نمی‌شود بلکه در باس یا پست متصل به واحد خورشیدی مشخص می‌شود.

۲- اطلاعات مربوط به جهت و زاویه و همین طور قابل چرخش بودن پنل‌های خورشیدی در این قسمت تعیین می‌شود. در شکل (۲-۸۴) دو نوع از حالت‌های ممکن برای تغییر زاویه پنل نسبت به خورشید با توجه به زمان و مکان نشان داده شده است.



شکل (۲-۸۴): درجه آزادی واحدهای خورشیدی

در صورت ثابت بودن زاویه پنل، مقادیر این زوایای نشان داده شده در شکل بالا تعیین می‌شود. تب مربوط به مشخصات سیم نوترال و سیستم زمین همانند بخش مشابه در توربین بادی متصل با مبدل نامی است.

۳- درصد بهره‌وری اینورتر

صفحه پخش بار

تب اطلاعات پایه

تنظیمات بخش پخش بار مولد خورشیدی (مدل دوم) در شکل (۲-۸۵) مشخص شده است. در این بخش داریم:

شکل (۲-۸۵): تنظیمات قسمت پخش بار مولد خورشیدی مدل دوم

۱- در این قسمت مدهای کنترلی محلی که شامل انواع ولتاژ، ضریب توان، دروپ و یا دیگر مدهای کنترلی است، تنظیم می‌شود.

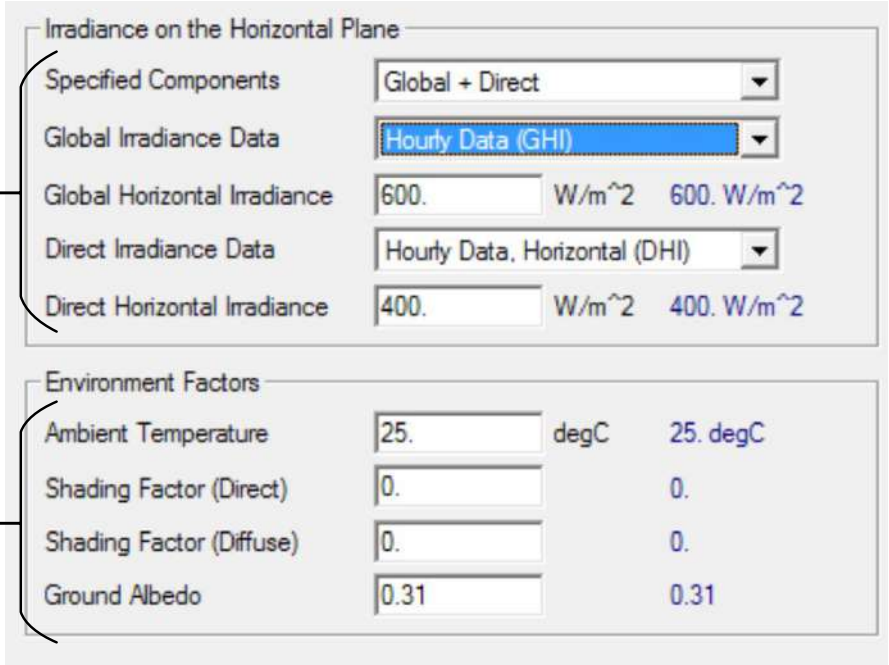
۲- در صورت انتخاب مدل دوم (بر اساس محاسبات خورشیدی) توان اکتیو بهره‌برداری در این قسمت قابل تنظیم نیست.

۳- اطلاعات مربوط به توان راکتیو و ولتاژ در این قسمت وارد می‌شود. لازم به ذکر است که نوع اطلاعات ورودی در این قسمت وابسته به مد کنترلی محلی انتخاب شده می‌باشد.

اطلاعات موجود در بخش بهره‌برداری مشابه اطلاعات بهره‌برداری تجهیزات است که قبلا بیان شده است و از توضیح مجدد آنها خودداری می‌شود.

بخش اطلاعات محیطی

در این قسمت اطلاعات مربوط به مدل‌سازی تابش خورشید و پارامترهای دخیل در میزان تابش و انرژی جذب شده در پنل مشخص می‌شود.



شکل (۲-۸۶): مشخصات تابشی خورشید و عوامل محیطی

۱- در این قسمت مشخصات مربوط به تابش وارد می‌شود. همانطور که می‌دانیم تابش کل[۱] شامل دو قسمت تابش مستقیم[۲] نور خورشید و تابش پخشی[۳] می‌شود. در ابتدا لازم است، نوع ورودی که می‌تواند هر دو نوع تابش گفته شده باشد را مشخص کرد. سپس بنا به نوع ورودی انتخاب شده، اطلاعات هر کدام از تابش‌ها را بر اساس یک مدل از پیش تعیین شده و یا اطلاعات ساعتی آنها وارد نمود.

۲- در این قسمت اطلاعات محیطی محل نصب واحد خورشیدی مشخص می‌شود. این اطلاعات شامل دمای محیط، ضرایب سایه مربوط به تابش مستقیم و پخشی (که با توجه با این ضرایب از شدت تابش کم می‌شود.) و همین طور میزان بازتاب سطح زمین است.

---

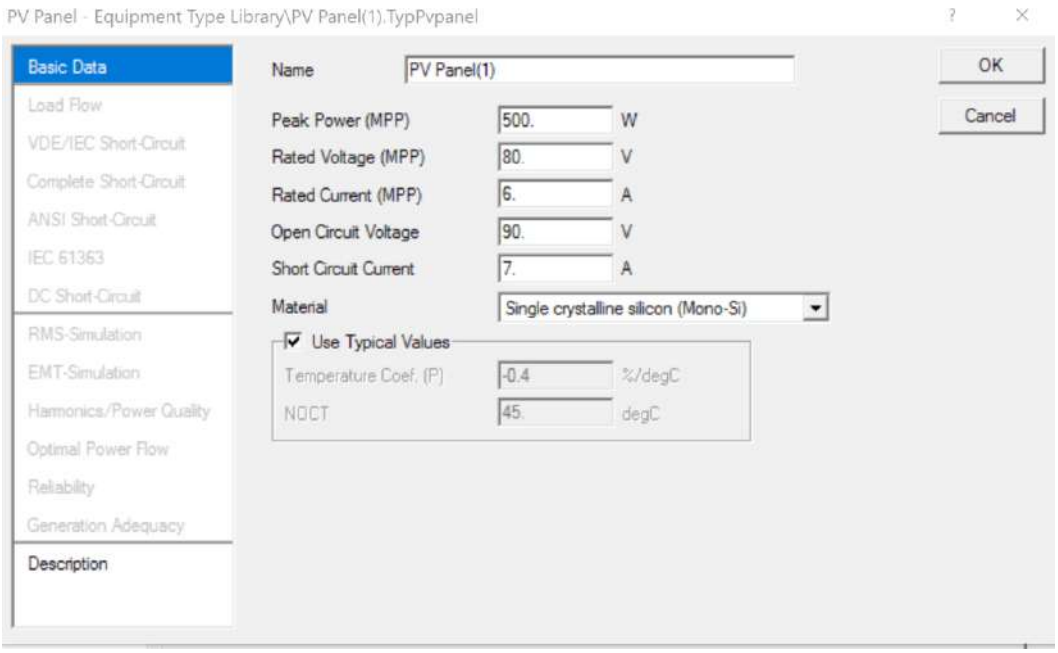
[۱] Global Irradiance

[۲] Direct Irradiance

[۳] Diffuse Irradiance

۲-۴-۲-بخش تایپ

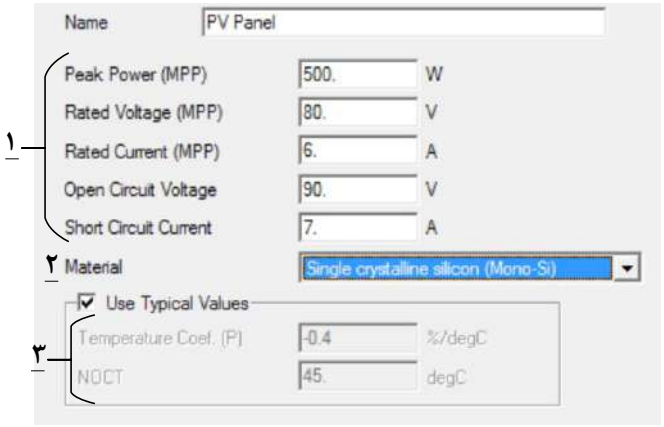
انتخاب تایپ برای واحد خورشیدی تنها در صورتی نیاز است که مدل نوع دوم (مدل بر اساس محاسبات خورشیدی) انتخاب شود. شکل کلی بخش تایپ مولد خورشید نوع دوم در شکل (۲-۸۷) نشان داده شده است.



شکل (۲-۸۷): شکل کلی بخش تایپ مولد خورشیدی نوع دوم

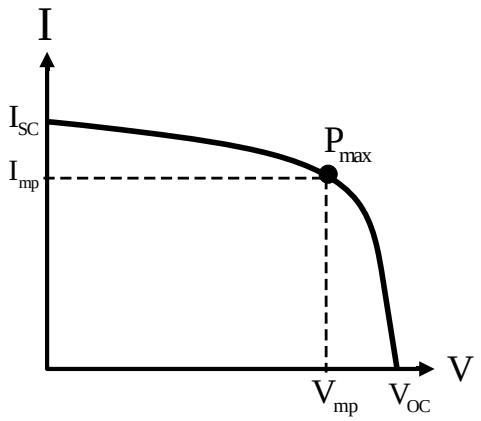
اطلاعات پایه

اطلاعات پایه نقطه حداکثر توان و جنس مولد خورشیدی (مدل دوم) در شکل (۲-۸۸) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۸۸): تنظیمات نقطه حداکثر توان و جنس مولد خورشیدی مدل دوم

۱- در این قسمت اطلاعات منحنی ردیابی نقطه حداکثر توان[1] که شامل حداکثر توان، ولتاژ و جریان در حالت حداکثر توان و ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه است وارد می‌شود. یک منحنی نمونه در شکل (۲-۸۹) نشان داده شده است.



شکل (۲-۸۹): منحنی نمونه نقطه حداکثر توان

۲- در این قسمت نوع مواد بکار رفته در پنل‌های خورشیدی مشخص می‌شود.

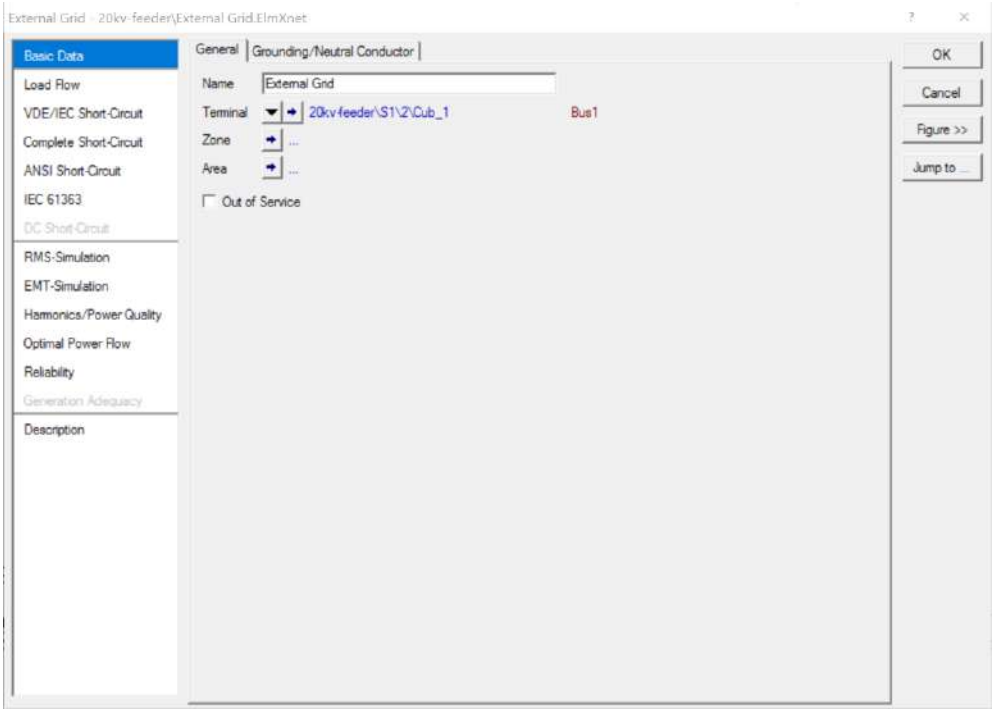
۳- در صورت انتخاب یکی ار انواع مواد موجود در قسمت قبل، مشخصات این قسمت که شامل ضریب تاثیر افزایش دما بر بهره‌وری و حداکثر دمای کارکرد می‌شود با استفاده از اطلاعات خود نرم‌افزار تعیین می‌شود. اما می‌توان این اطلاعات را نیز به صورت دستی وارد نمود.

اطلاعات مورد نیاز برای سایر بخش‌ها که شامل اطلاعات اتصال کوتاه بر اساس روش‌ها و استانداردهای مختلف و اطلاعات مورد نیاز برای مطالعات حالت گذرا است عیناً مشابه اطلاعات مورد نیاز برای مولد خورشیدی با مدل اول می‌باشد که در بخش‌های قبلی نحوه ورود این اطلاعات توضیح داده شده است.

۲-۵- مدل شبکه بینهایت

در مدل‌سازی شبکه توزیع، به طور معمول شبکه سمت فشار قوی پست‌های توزیع به صورت یک شبکه خارجی مدل می‌شود. اطلاعات مورد نیاز در صفحات اطلاعات پایه و پخش بار تماما در قسمت‌های قبل بیان شده و از تکرار آنها خودداری می‌شود. شکل کلی تنظیمات موجود برای مدل شبکه بینهایت در نرم‌افزار در شکل (۲-۹۰) نشان داده شده است.

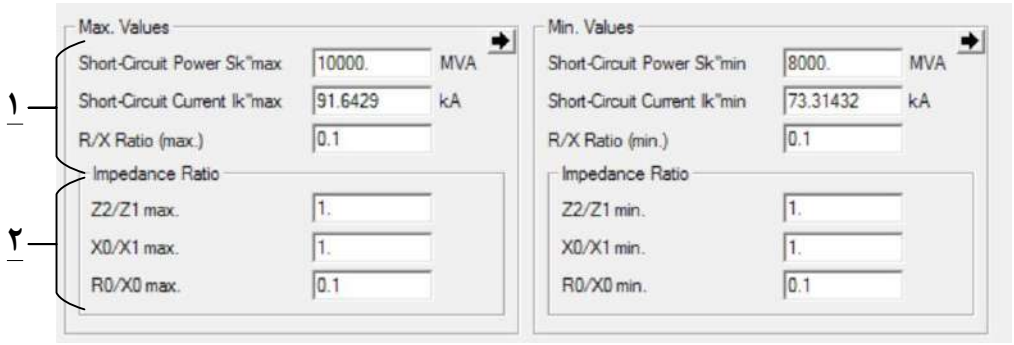
[1] Maximum power point tracking (MPPT)



شکل (۲-۹۰): تنظیمات موجود برای مدل شبکه بینهایت

صفحه اطلاعات مربوط به مطالعات اتصال کوتاه بر اساس استاندارد VDE/IEC

شکل (۲-۹۱) تنظیمات مربوط به مطالعات اتصال کوتاه شبکه بی نهایت را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۹۱): تنظیمات اتصال کوتاه مدل شبکه بی نهایت بر اساس استاندارد IEC/VDE

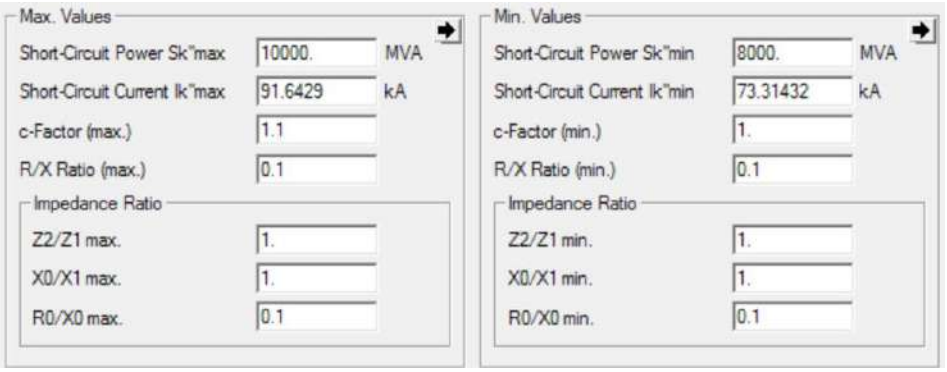
۱- در این قسمت توان نامی اتصال کوتاه و همین طور جریان آن و نسبت مقاومت به امپدانس وارد می‌شود.

۲- در این قسمت، نسبت‌های امپدانس مولفه منفی به مولفه مثبت، راکتانس مولفه صفر به مولفه مثبت و همین طور مقاومت مولفه صفر به راکتانس مولفه صفر وارد می‌شود.

همانطور که مشاهده می‌شود، اطلاعات ورودی در دو دسته بیشترین مقادیر و کمترین مقادیر وارد می‌شوند. دلیل این امر این است که در شبکه خارجی مدل شده، اجزای داخلی همیشه در حال تغییر می‌باشند و در نتیجه پارامترهایی که این شبکه را مدل می‌کنند نیز لازم است تغییر کنند. بنابراین برای

اطمینان از حدود عملکردی شبکه در مطالعات اتصال کوتاه از دو مدل مختلف شبکه خارجی که در دو حالت بیشترین و کمترین قدرت اتصال کوتاه و دیگر پارامترهای وابسته هستند استفاده شده است.

صفحه اطلاعات مربوط به مطالعات اتصال کوتاه بر اساس روش کامل



شکل (۲-۹۲): تنظیمات اتصال کوتاه مدل شبکه بی‌نهایت براساس روش کامل

در این بخش تنها پارامتر اضافی نسبت به حالت قبلی وجود فاکتور C می‌باشد که این فاکتور در ولتاژ سیستم ضرب می‌شود تا به مقدار قبل از خطا برسد.

صفحه اطلاعات مربوط به مطالعات اتصال کوتاه بر اساس استاندارد ANSI

تنها تفاوت در این قسمت این است که انتخاب بیشترین و یا کمترین مقدار سطح اتصال کوتاه در خود مدل شبکه خارجی انجام می‌شود.

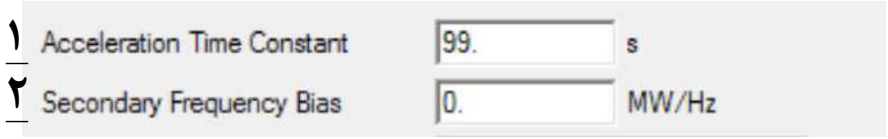
شکل (۲-۹۳): تنظیمات اتصال کوتاه مدل شبکه بی‌نهایت بر اساس استاندارد ANSI

صفحه اطلاعات مربوط به مطالعات اتصال کوتاه بر اساس استاندارد IEC61363

شکل (۲-۹۴): تنظیمات اتصال کوتاه مدل شبکه بی‌نهایت بر اساس استاندارد IEC61363

در این حالت اطلاعات جریان و ضریب توان شبکه خارجی مورد نیاز است.

صفحه اطلاعات مربوط به مطالعات حالت گذرا



شکل (۲-۹۵): مشخصات حالت گذرای مدل شبکه بینهایت

اکثر اطلاعات مورد نیاز در این بخش مشابه بخش مطالعات اتصال کوتاه است. اطلاعات اضافی دیگری که در این بخش مورد نیاز است عبارتند از:

۱- مدت زمان شتاب‌گیری شبکه خارجی که در واقع نماینده شتاب‌گیری تمامی مولدهای موجود در شبکه بالادست است.

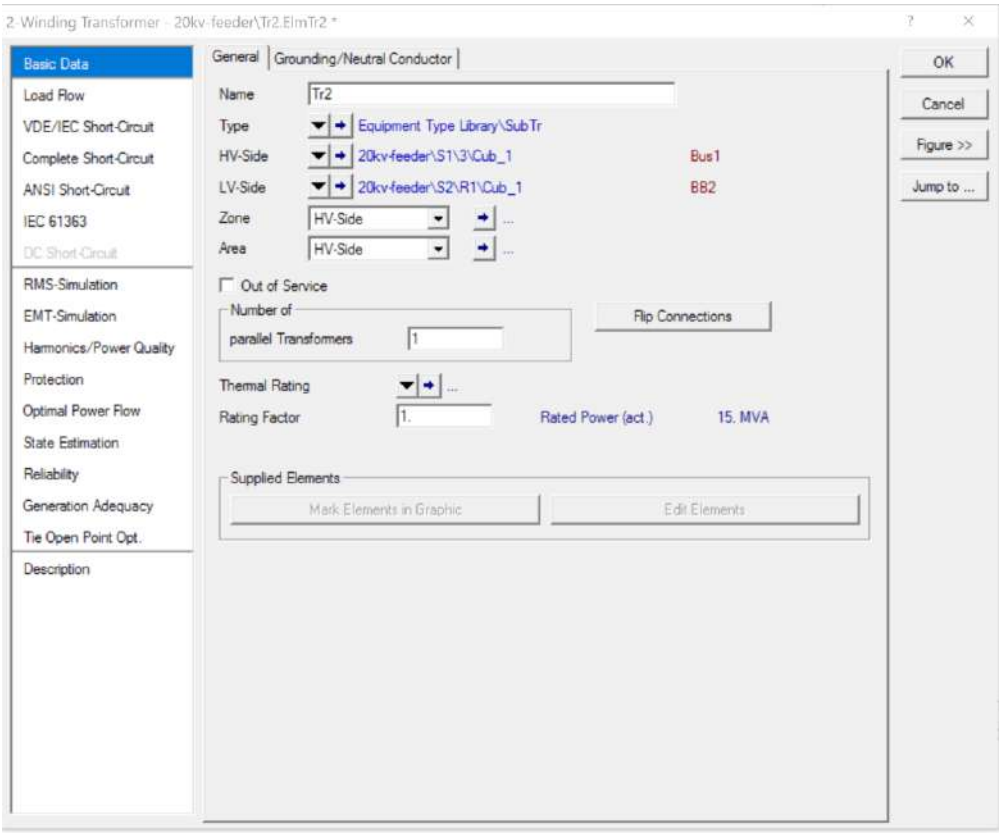
۲- وابستگی توان اکتیو به فرکانس

در مطالعات مربوط به شبکه توزیع می‌توان از مقادیر پیش فرضی که در مدل‌سازی موجود است استفاده نمود. اطلاعات مربوط به کیفیت توان و مطالعات هارمونیکی نیز مشابه اطلاعات مورد نیاز برای حالت گذرا بوده و همین طور مانند دیگر تجهیزات ذکر شده برای اندوکتانس‌ها و مقاومت‌های مولفه‌های متقارن می‌توان نمودار تغییرات مقدار بر حسب فرکانس تخصیص داد و همین طور هارمونیک ولتاژ را دو حالت سه فاز نامتقارن و یا بر اساس استاندارد IEC61000 وارد نمود.

۲-۶- ترانسفورماتور

۲-۶-۱- بخش المان

شمای کلی بخش المان ترانسفورماتور در نرم‌افزار در شکل (۲-۹۶) نشان داده شده است. در ادامه به معرفی بخش‌های مختلف خواهیم پرداخت.

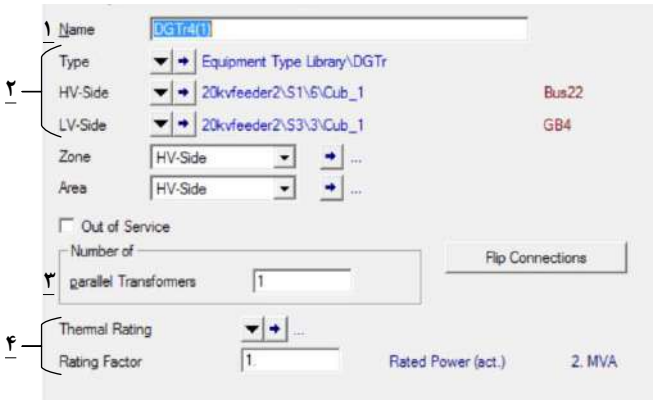


شکل (۲-۹۶): شکل کلی بخش المان ترانسفورماتور

صفحه اطلاعات پایه

بخش اطلاعات کلی

بخش اطلاعات کلی بخش المان ترانسفورماتور در شکل (۲-۹۷) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۹۷): اطلاعات کلی بخش المان ترانسفورماتور

۱- نام المان مورد استفاده مشخص می‌شود.

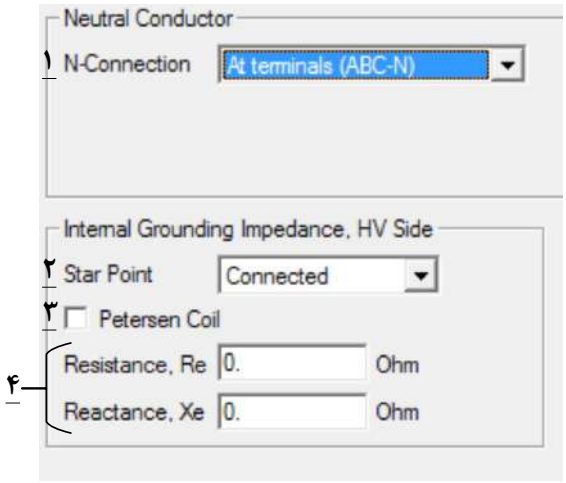
۲- مدل مرجع استفاده شده برای المان در این قسمت انتخاب می‌شود. همین طور محل اتصال ترمینال‌های سمت فشارقوی و فشار ضعیف در این بخش تعیین می‌شود.

۳- تعداد ترانسفورماتورهای موازی شده در این قسمت مشخص می‌شود.

۴- می‌توان برای ترانسفورماتور مورد نظر یک ارزیابی حرارتی تعیین کرد. همچنین می‌توان با تعیین عدد کوچکتر از ۱ برای Rating Factor محدوده کاری و توان قابل پشتیبانی آن را محدود کرد. یکی از کاربردهای این پارامتر، مدل‌سازی پیری و فرسودگی یک ترانسفوماتور با کم کردن محدوده کاربرد آن می‌باشد.

بخش اطلاعات زمین و نوترال

شکل (۲-۹۸) اطلاعات زمین و نوترال بخش المان ترانسفورماتور را در نرم‌افزار نشان می‌دهد. در این بخش داریم:



شکل (۲-۹۸): اطلاعات زمین و نوترال بخش المان ترانسفورماتور

۱- نوع اتصال نوترال ترانسفورماتور(که وجود آن وابسته به نوع سیم پیچی تعریف شده در بخش تایپ می‌باشد.) در این قسمت مشخص می‌شود. در صورت انتخاب حالت Separate at HV می‌توان نوترال را به یک کیوبیکل دلخواه متصل نمود.

۲- در صورت در دسترس بودن نوترال ترانسفورماتور در حالت سیم پیچی ستاره، زمین شدن یا نشدن نوترال سمت فشار قوی در این قسمت تعیین می‌شود.

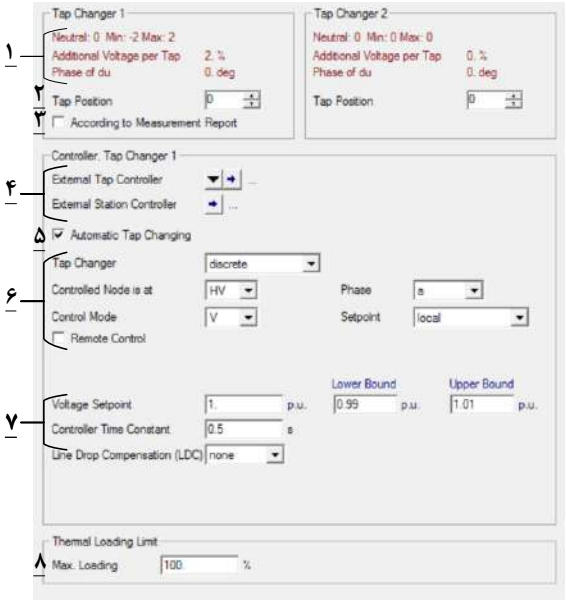
۳- وجود کویل پترسون[1] در این بخش مشخص می‌شود.

۴- مشخصات الکتریکی سیستم زمین در این قسمت بر حسب اهم وارد می‌شود.

صفحه اطلاعات پخش بار

تب اطلاعات کلی

شکل(۲-۹۹) اطلاعات کلی پخش بار بخش المان ترانسفورماتور در نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۹۹): اطلاعات کلی پخش بار بخش المان ترانسفورماتور

۱- در این قسمت، پارامترهایی که در بخش تایپ تعریف می‌شود، نشان داده می‌شود. تب اول مربوط به سمت فشار قوی و تب دوم مربوط به سمت فشار ضعیف می‌باشد.

۲- در این بخش می‌توان مقدار پله تپ ترانس را به صورت دستی تنظیم نمود.

۳- در صورت انتخاب این گزینه، تپ ترانس بر اساس یک سری از داده‌های اندازه‌گیری شده تنظیم می‌شود که در ادامه به توضیح این قسمت پرداخته خواهد شد.

۴- در این قسمت می‌توان کنترل تب سمت اولیه را به کنترل کننده‌های خارج از ترانس واگذار نمود.

۵- در صورت انتخاب این گزینه تپ ترانس به صورت اتوماتیک تنظیم خواهد شد.

[1] Petersen Coil

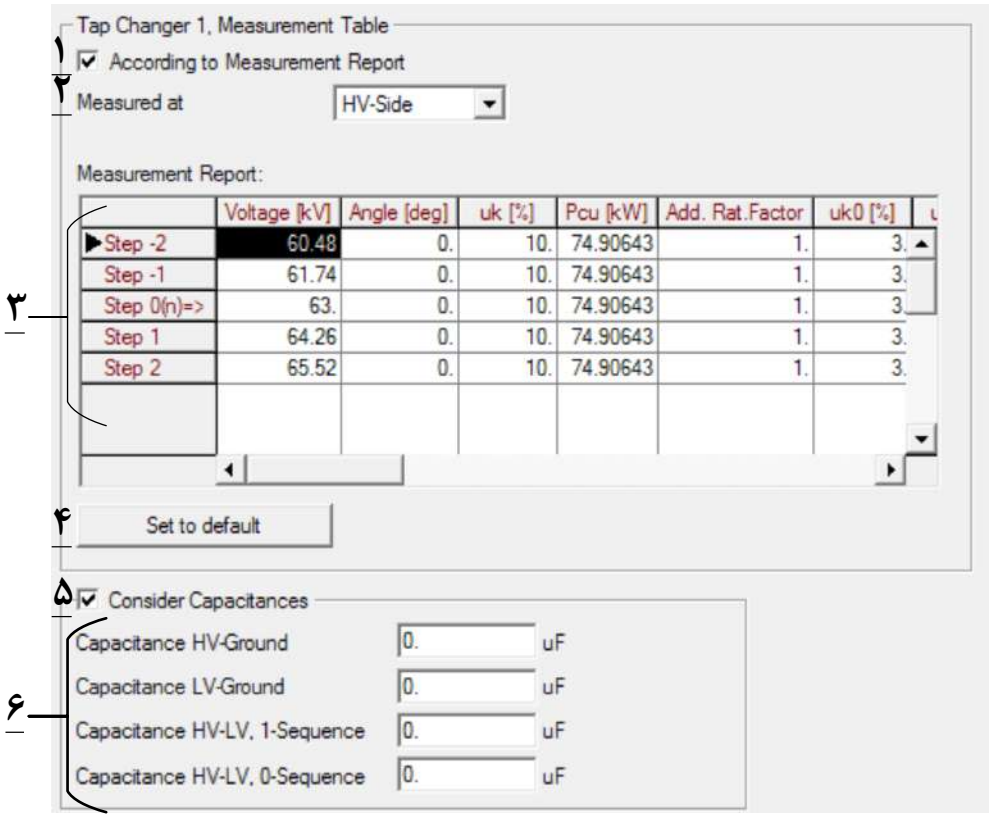
۶- در این قسمت تنظیمات تغییرات اتوماتیک تپ ترانس اعم از نوع تغییرات (پیوسته و گسسته) کنترل در سمت فشار قوی یا فشار ضعیف، کنترل محلی یا کنترل براساس یک باس دیگر و مد کنترل (ولتاژ، توان اکتیو، توان راکتیو) قرار دارد.

۷- تنظیمات این قسمت بر اساس مد کنترلی تپ اتوماتیک تغییر می‌کند. برای مثال در حالت کنترل ولتاژ نقطه تنظیم، باند بالا و پایین ولتاژ و ثابت زمانی کنترل کننده مشخص می‌شود.

۸- در این قسمت حداکثر بارگیری حرارتی ترانسفورماتور وارد می‌شود.

بخش تنظیمات پیشرفته

شکل (۲-۱۰۰) تنظیمات پیشرفته پخش بار المان ترانسفوماتور در نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۰۰): تنظیمات پیشرفته پخش بار بخش المان ترانسفورماتور

۱- با انتخاب این گزینه، تنظیمات تب ترانسفورماتور بر اساس گزارشات اندازه‌گیری انجام می‌شود.

۲- این قسمت مشخص کننده مقادیر گزارشات اندازه‌گیری در سمت فشار قوی یا فشار ضعیف می‌باشد.

۳- در این قسمت، جدول گزارشات اندازه گیری‌شده برای هر کدام از تپ‌های ترانسفورماتور برحسب اندازه و فاز ولتاژ و تلفات مسی بیان می‌شود.

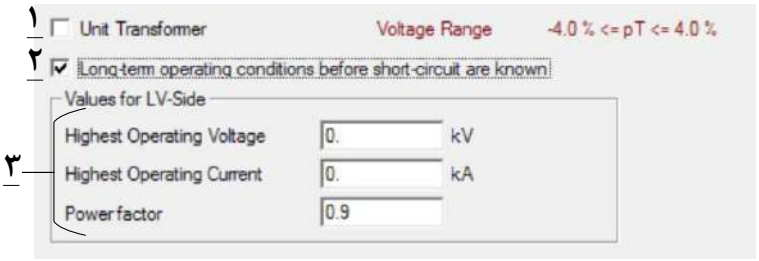
۴- در این قسمت می‌توان تغییرات انجام شده توسط کاربر را به حالت پیش فرض اولیه برگرداند.

۵- با انتخاب این گزینه، خازن‌های ترانسفورماتور نیز در مدل پیاده‌سازی می‌شود.

۶- این قسمت،مقادیر خازنهای بین سطوح فشار ضعیف، فشار قوی و زمین مشخص می‌شود.

صفحه اطلاعات مربوط به مطالعات اتصال کوتاه بر اساس استاندارد VDE/IEC

تنظیمات مربوط به مطالعات اتصال کوتاه براساس استاندارد VDE/IEC در شکل (۲-۱۰۱) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۱۰۱): تنظیمات اتصال کوتاه روش VDE/IEC بخش المان ترانسفورماتور

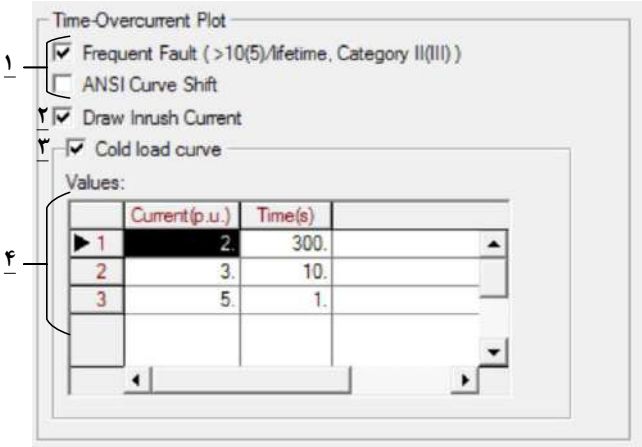
۱- در صورت انتخاب این گزینه، ترانسفورماتور به صورت یک ترانس واحد مدل می‌شود.

۲- با انتخاب این گزینه، شرایط بهره‌برداری طولانی مدت ترانسفورماتور قبل از وقوع خطا وارد می‌شود.

۳- پارامترهای مورد نیاز برای شرایط بهره‌برداری طولانی مدت قبل از وقوع خطا بر اساس اطلاعات بالاترین ولتاژ، جریان و ضریب توان در سمت فشار ضعیف تعیین می‌شود. در این بخش، اطلاعات تپ سمت فشار قوی بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده نیز وجود دارد که در قسمت‌های قبل بیان شده است. اطلاعات مورد نیاز مطالعات اتصال کوتاه براساس استانداردها و روش‌های مختلف و همین طور مطالعات حالت گذرا و کیفیت توان تماما در قسمت‌های قبل توضیح داده شده است.

صفحه اطلاعات مطالعات حفاظتی

تنظیمات حفاظتی بخش المان ترانسفورماتور در نرم‌افزار در شکل (۲-۱۰۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۰۲): تنظیمات حفاظتی بخش المان ترانسفورماتور

۱- این دو گزینه مربوط به منحنی‌های آسیب دیدگی ژنراتور می‌باشند.

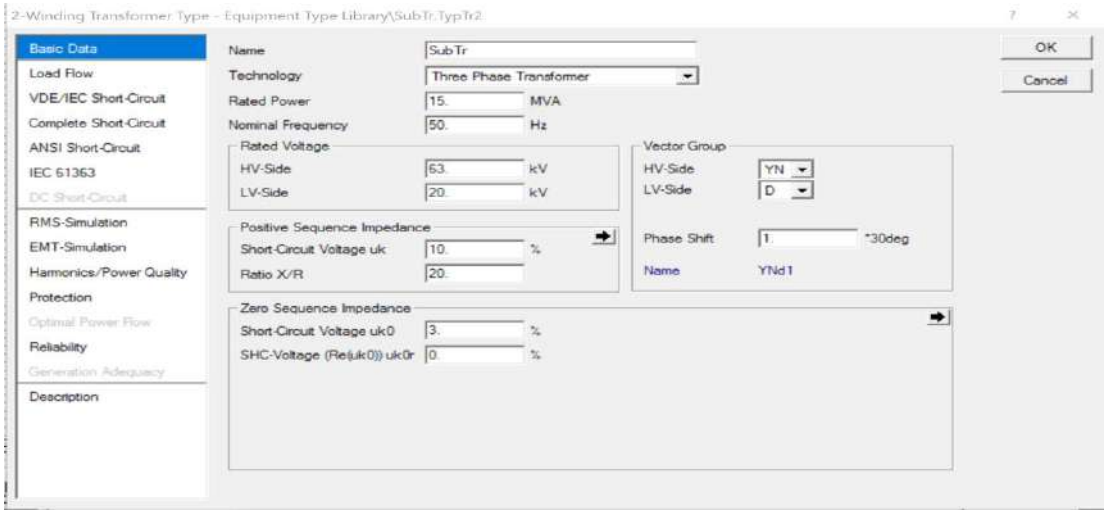
۲- با انتخاب این گزینه منحنی جریان هجومی ترانسفورماتور در مطالعات حفاظتی در نظر گرفته می‌شود.

۳- با انتخاب این گزینه منحنی مرتبط با جریان‌های بارهای هجومی بر اساس نسبت آنها به جریان نامی و مدت زمان تداوم آنها، تعیین می‌شود.

۴- در صورت انتخاب گزینه ۳، می‌توان مشخصات جریان- زمانی بارهای سرمایشی[1] را وارد نمود.

۲-۶-۲-بخش تایپ

شمای کلی بخش تایپ ترانسفورماتور در نرم‌افزار در شکل (۲-۱۰۳) نشان داده شده است.

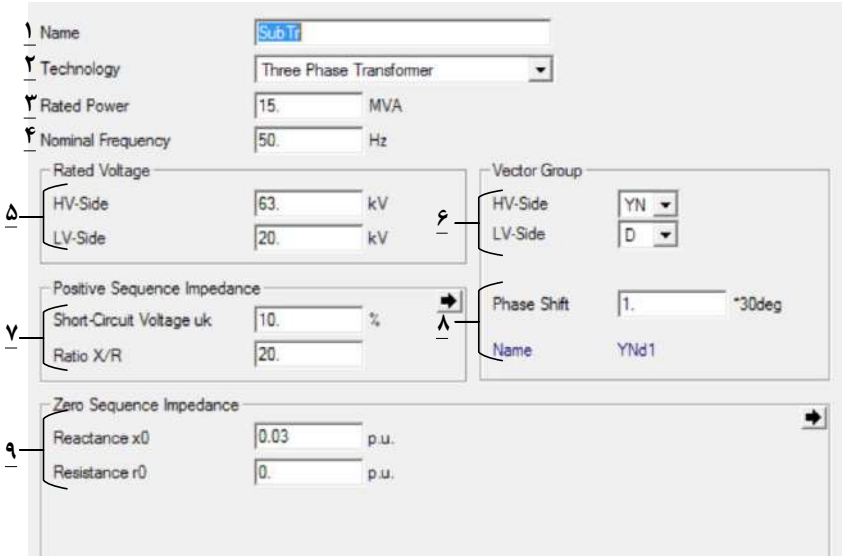


شکل (۲-۱۰۳): شکل کلی بخش تایپ ترانسفورماتور

[1] Cold load Pickup

صفحه اطلاعات پایه

اطلاعات بخش تایپ ترانسفوماتور در شکل (۲-۱۰۴) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۱۰۴): اطلاعات پایه بخش تایپ ترانسفورماتور

۱- نام تایپ تجهیز مورد نظر

۲- نوع تکنولوژی ترانسفورماتور که شامل (سه فاز، تکفار و تکفاز با زمین برگشته است) است.

۳- توان ظاهری نامی ترانسفورماتور

۴- فرکانس کاری

۵- سطوح ولتاژ فشار قوی و فشار ضعیف

۶- نوع سیم پیچی‌های فشار ضعیف و فشار قوی

۷- مقادیر درصد ولتاژ اتصال کوتاه و نسبت اندوکتانس به مقاومت (همچنین می‌توان با انتخاب زبانه سمت راست، پارامترهای جایگزین برای آن را مشخص نمود.)

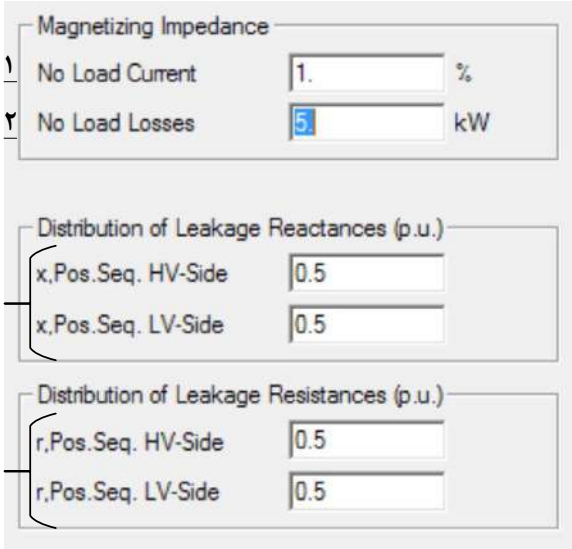
۸- گروه برداری ترانسفورماتور به صورت ضریب صحیح (همچنین نام مدل سیم پیچی و گروه آن نیز به اختصار نمایش داده شده است.)

۹- امپدانس توالی صفر (در این شکل به صورت راکتانس و مقاومت توالی صفر بر حسب پریونیت نشان داده شده است اما می‌توان با انتخاب زبانه مرتبط، پارامترهای جایگزین دیگری را بر حسب اطلاعات موجود وارد نمود.)

صفحه اطلاعات مرتبط با پخش بار

اطلاعات کلی

اطلاعات پخش بار بخش تایپ ترانسفورماتور در نرم‌افزار در شکل (۲-۱۰۵) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۰۵): اطلاعات پخش بار بخش تایپ ترانسفورماتور

۱- جریان بی باری ترانسفورماتور بر حسب درصدی از جریان نامی

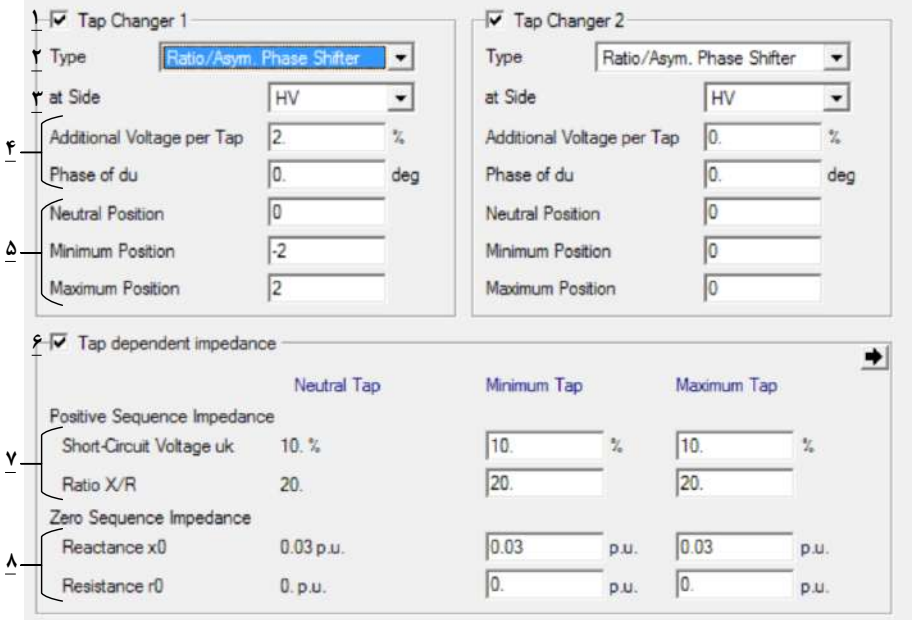
۲- تلفات بی باری ترانسفورماتور(تلفات هسته آهنی)

۳- مدل توزیع شده راکتانس نشتی بر حسب پریونیت در دو سمت فشار قوی و فشار ضعیف

۴- مدل توزیع شده مقاومت نشتی بر حسب پریونیت در دو سمت فشار قوی و فشار ضعیف

بخش اطلاعات مربوط به تپ چنجر

شکل (۲-۱۰۶) اطلاعات مربوط به تب چنجر ترانسفورماتور در بخش تایپ آن را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۰۶): اطلاعات تپ چنجر بخش تایپ ترانسفورماتور

۱- با انتخاب این گزینه یک تپ چنجر برای ترانس لحاظ می‌شود.

۲- نوع تپ چنجر در این قسمت انتخاب می‌شود که شامل نوع تغییر دهنده نسبت و فاز نامتقارن، شیفت فاز ایده‌آل و شیفت فاز متقارن می‌باشد.

۳- محل قرارگیری تپ چنجر (سمت فشار قوی یا فشار ضعیف) وارد می‌شود.

۴- مقدار ولتاژ اضافه شده برای هر پله بر حسب درصد ولتاژ نامی و همین طور مقدار تغییر فاز به ازای هر پله در این بخش وارد می‌شود. لازم به ذکر است که در دسترس بودن و وجود این دو نوع پارامتر وابسته به نوع تپ چنجر انتخاب شده می‌باشد.

۵- تعداد پله‌ها برای وضعیت حداکثر، حداقل و وضعیت خنثی در این بخش وارد می‌شود.

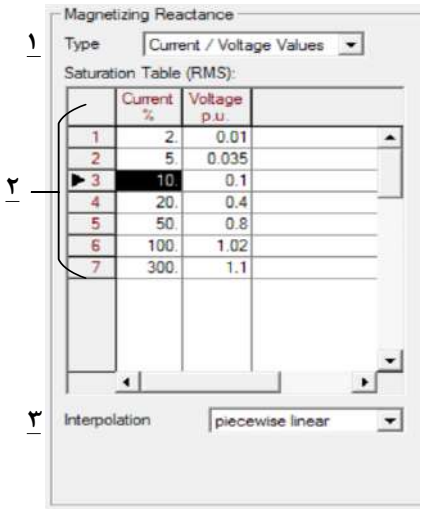
۶- با انتخاب این گزینه، مدل‌سازی تپ ترانسفورماتور بر اساس امپدانس انجام می‌شود. این مدل از دقت بیشتری برخوردار است.

۷- مقادیر امپدانس توالی مثبت در سه وضعیت تب خنثی، حداقل و حداکثر مشخص می‌شود. پارامترهای مربوطه در این قسمت به صورت امپدانس اتصال کوتاه و نسبت راکتانس به مقاومت است، اما می‌توان با استفاده از زبانه سمت راست با پارامترهای دیگر نیز جایگزین نمود.

۸- مقادیر امپدانس توالی صفر در سه وضعیت تب خنثی، حداقل و حداکثر مشخص می‌شود. پارامترهای مربوطه در این قسمت، راکتانس و مقاومت توالی صفر بر حسب پریونیت است اما می‌توان با استفاده از زبانه سمت راست با پارامترهای دیگر نیز جایگزین نمود.

بخش اطلاعات مربوط به اشباع ترانسفورماتور

اطلاعات اشباع بخش تایپ ترانسفورماتور در شکل (۲-۱۰۷) نشان داده شده است. در این شکل داریم:



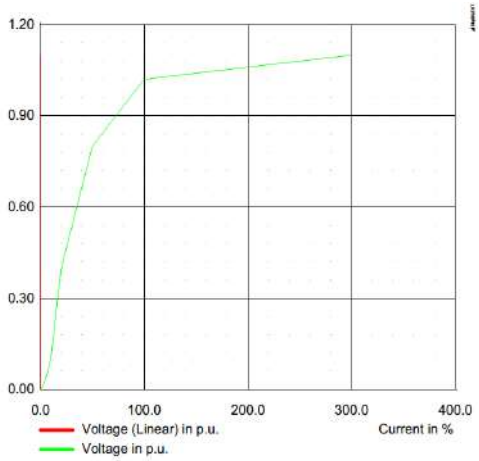
شکل (۲-۱۰۷): اطلاعات اشباع بخش تایپ ترانسفورماتور

۱- در این قسمت باید نوع مدل‌سازی اشباع ترانس مشخص شود. در صورت انتخاب مدل خطی[1] از پدیده اشباع صرفنظر شده و هسته به صورت ایده‌آل مدل می‌شود. اما با انتخاب گزینه Current/Voltage Values می‌توان اشباع ترانس را بر اساس جدول تعیین نمود.

۲- با انتخاب گزینه دوم در قسمت قبل می‌توان منحنی اشباع را بر حسب جریان تحریک ولتاژ ترمینال به صورت یک جدول وارد نمود. خروجی جدول به صورت یک نمودار همانند شکل (۲-۱۰۸) نشان داده می‌شود.

۳- نوع رابطه استفاده شده برای درون یابی به وسیله داده‌های وارد شده در قسمت ۲ را مشخص می‌کند.

[1] Linear



شکل (۲-۱۰۸): منحنی اشباع ترانسفورماتور

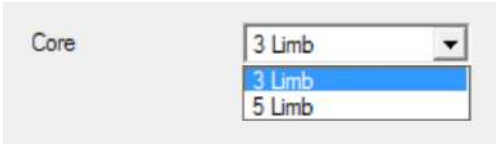
در این شکل، مقدار جریان تحریک ترانسفورماتور برحسب درصد جریان نامی و ولتاژ اعمالی به ترمینال‌های ترانسفورماتور نشان داده شده است. نمودار زرد رنگ تغییرات جریان تحریک بر حسب تغییرات ولتاژ ترمینال را نشان می‌دهد و نمودار قرمز رنگ که بر روی محور عمودی قرار گرفته، نشانگر حالت خطی هسته ترانسفورماتور است.

صفحه مطالعات اتصال کوتاه

عمده اطلاعات مورد نیاز مطالعات اتصال کوتاه در قسمت مربوط به پخش بار بیان شده است و از بیان مجدد آنها خودداری می‌شود. تنها اطلاعات مورد نیاز، انتخاب قابلیت تعویض تپ تحت بار و همینطور کلاس خنک کنندگی ترانسفورماتور است.

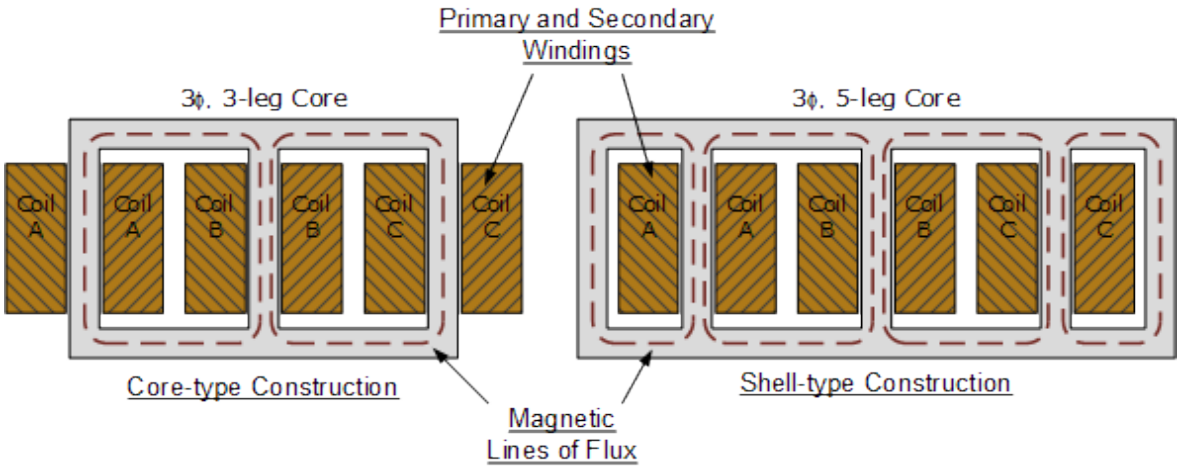
صفحه مطالعات RMS & EMT Simulation

عمده اطلاعات مورد نیاز در این قسمت در بخش‌های قبلی بیان شده است. در این صفحه برای مطالعاتEMT Simulation تعداد بازوهای ترانسفورماتور همانند شکل زیر مشخص می‌شود.



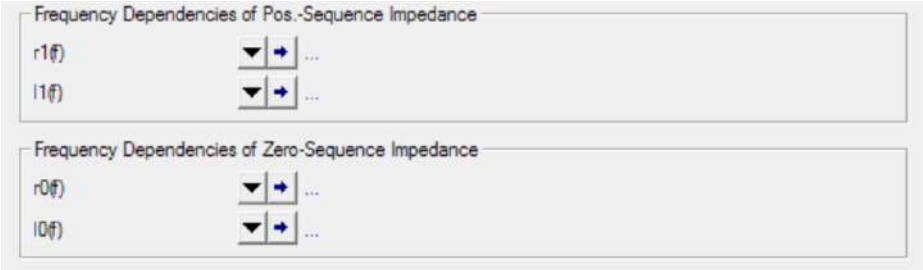
شکل (۲-۱۰۹): انتخاب تعدادستون‌های ترانسفورماتور

برای درک بهتر، شکل (۲-۱۱۰) ترانسفورماتورهای ۳ و ۵ ستونه را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۱۰): ترانسفورماتورهای ۳و ۵ ستونه

صفحه مطالعات هامونیکی و کیفیت توان

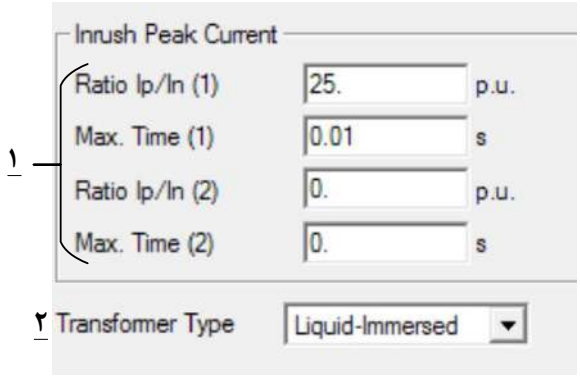


شکل (۲-۱۱۱): اطلاعات هارمونیکی بخش تایپ ترانسفورماتور

همانند سایر تجهیزات می‌توان برای اندوکتانس و مقاومت توالی‌های مثبت و صفر مشخصه تغییرات اندازه نسبت به تغییرات فرکانس را مشخص نمود. دیگر اطلاعات مورد نیاز این قسمت در قسمت‌های قبل توضیح داده شده است.

صفحه مطالعات حفاظتی

اطلاعات حفاظتی مورد نیاز بخش تایپ ترانسفورماتور در شکل (۲-۱۱۲) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۱۱۲): اطلاعات حفاظتی بخش تایپ ترانسفورماتور

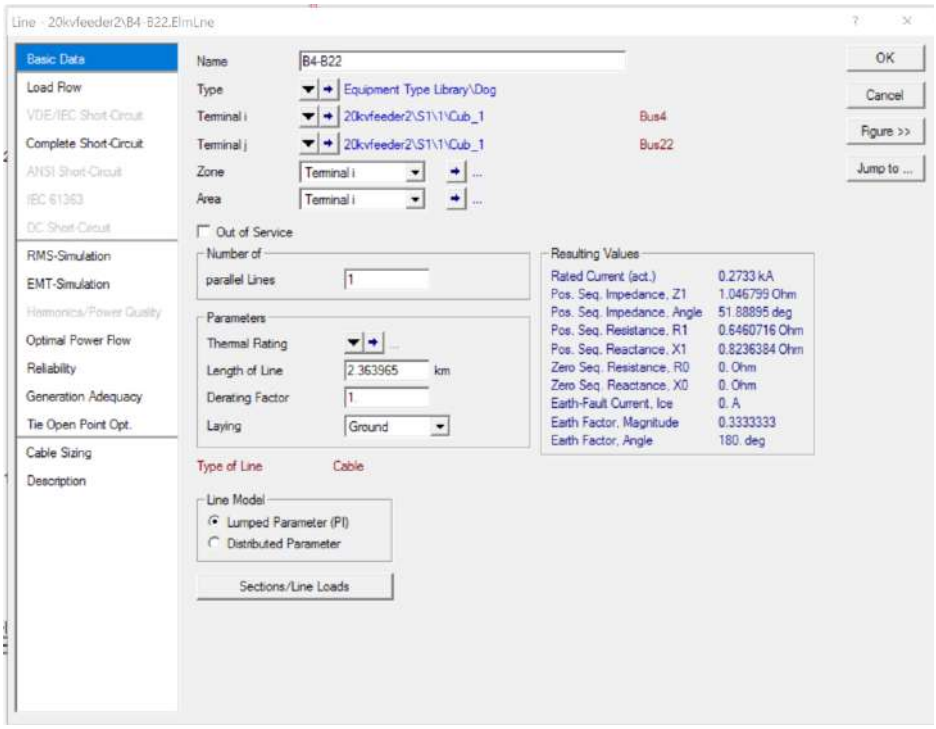
۱- در این قسمت می‌توان مشخصات دو نقطه از منحنی جریان هجومی بر حسب زمان را وارد نمود. البته وجود یک نقطه از این منحنی نیز کافی است.

۲- روغنی یا خشک بودن عایق ترانسفورماتور در این قسمت مشخص می‌شود.

۲-۷- خط و کابل

۲-۷-۱- بخش المان

شمای کلی بخش المان خط یا کابل در نرم‌افزار در شکل (۲-۱۱۳) نشان داده شده است. در ادامه به معرفی بخش‌های مختلف خواهیم پرداخت.



شکل (۲-۱۱۳): شکل کلی بخش المان خط یا کابل

صفحه اطلاعات پایه

شکل (۲-۱۱۴) اطلاعات پایه مورد نیاز بخش المان کابل را نشان می‌دهد. مطابق این شکل داریم:

۱- نام خط یا کابل انتخاب

۲- تایپ تجهیز انتخاب

۳- ترمینال‌های اتصال دو سمت خط یا کابل

۴- در صورت وجود ۲ یا چند خط موازی می‌توان تعدا آنها را در این قسمت وارد نمود.

۵- تعریف مشخصه حد نامی حرارتی برای کابل یا خط

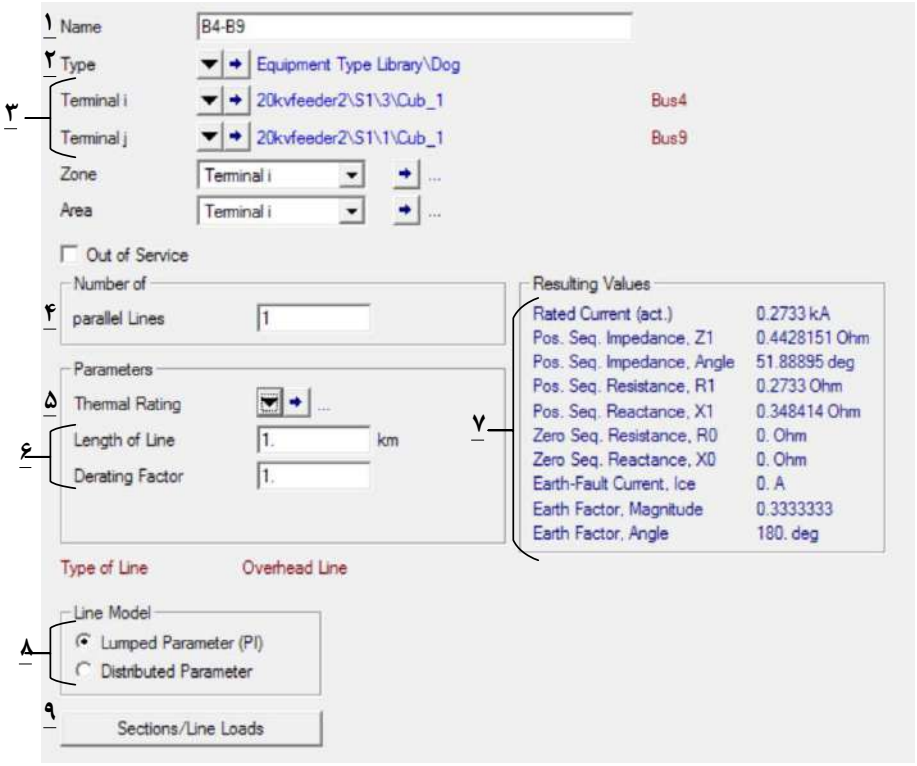
۶- طول خط یا کابل و همین طور ضریب کاهش حد نامی

۷- با توجه به اطلاعات وارد شده در هر دو بخش تایپ و المان یک ستون خلاصه از اطلاعات الکتریکی مانند امپدانس‌ها در توالی‌های مختلف به نمایش در می‌آید.

۸- در این قسمت مدل انتخاب شده برای مدل‌سازی خط از بین مدل پای[1] یا مدل توزیع شده استفاده می‌شود.

[1] Phi

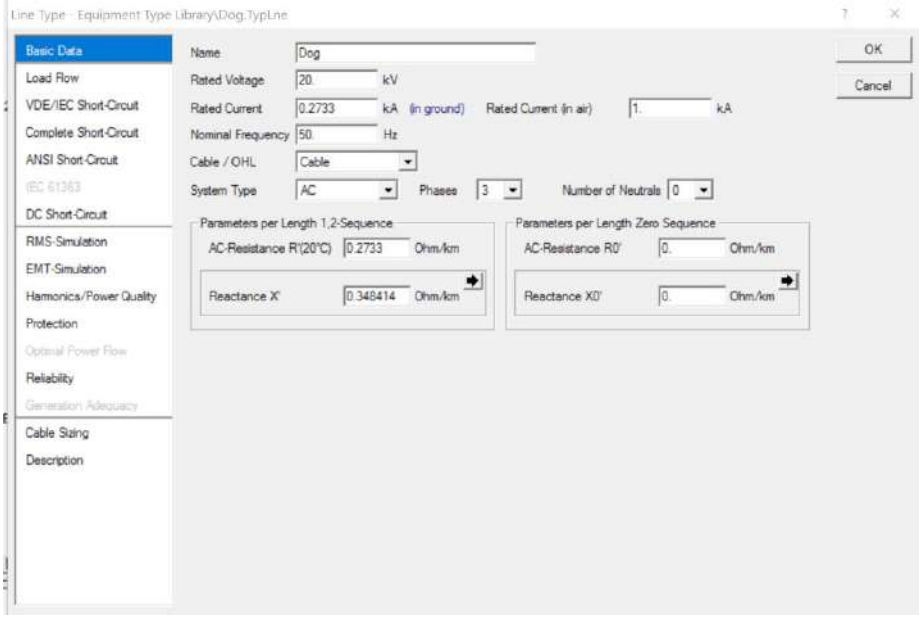
۹- با انتخاب این گزینه، می‌توان قسمتی از خط را که از لحاظ جنس و مشخصات الکتریکی متفاوت است را مدل نمود.



شکل (۲-۱۱۴): اطلاعات پایه بخش المان خط یا کابل

۲-۷-۲- بخش تایپ

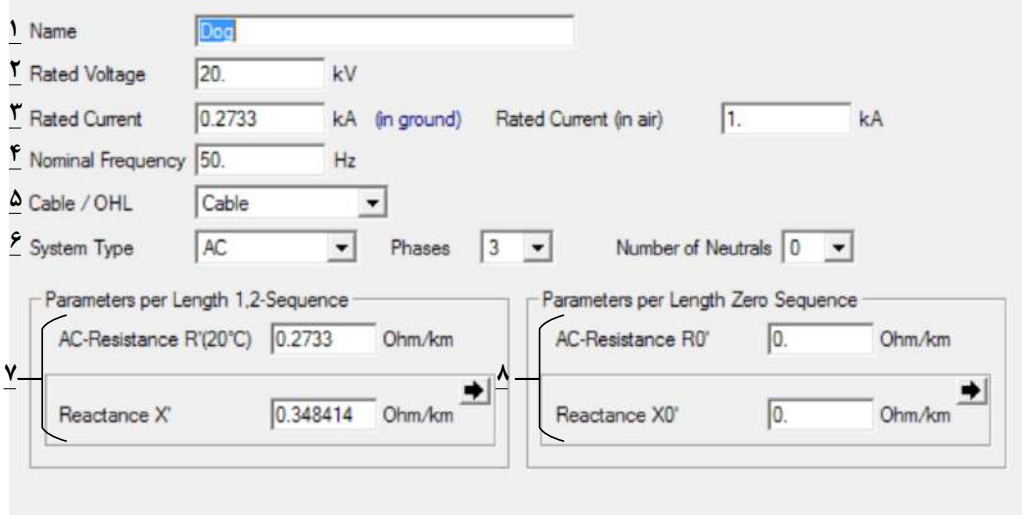
شمای کلی بخش تایپ خط و کابل در نرم‌افزار در شکل (۲-۱۱۵) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۱۵): شکل کلی بخش تایپ خط و کابل

صفحه اطلاعات پایه

شکل (۲-۱۱۶) اطلاعات پایه بخش تایپ خط یا کابل را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۱۶): اطلاعات پایه بخش تایپ خط یا کابل

۱- نام تایپ خط انتقال

۲- ولتاژ نامی خط انتقال

۳- جریان نامی خط یا کابل (در حالت کابل این مقدار جریان باید در دو حالت زمین و بیرون زمین مقدار دهی شود.)

۴- فرکانس نامی جریان عبوری

۵- نوع کابل یا خط هوایی

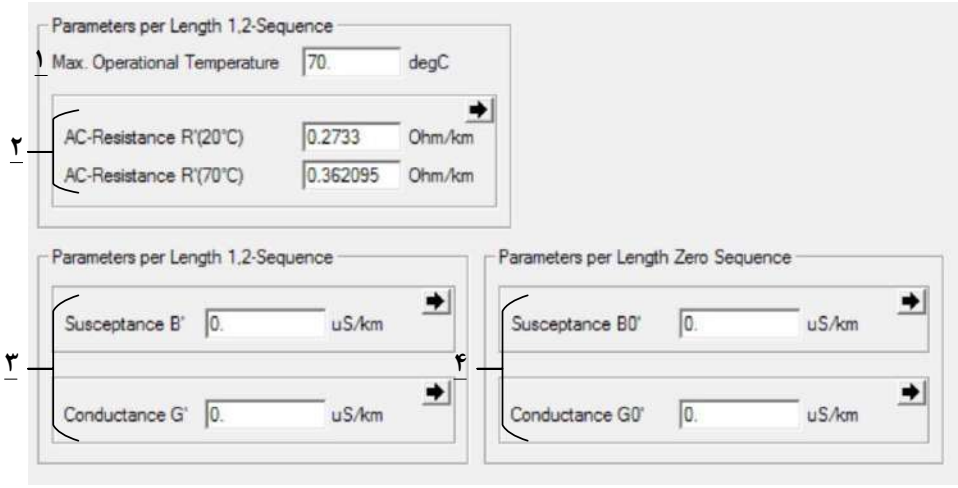
۶- نوع جریان متناوب یا جریان ثابت و تعداد فاز و سیم‌های نوترال

۷- پارامترهای مقاومت AC در دمای بیست درجه و راکتانس آن برای توالی فازهای مثبت و منفی

۸- پارامترهای مقاومت و راکتانس خط یا کابل توالی صفر (البته به طور تقریبی می‌توان این پارامترها را نسبت ۲ تا ۳ برابر مقادیر توالی مثبت در نظر گرفت.)

صفحه اطلاعات پخش بار

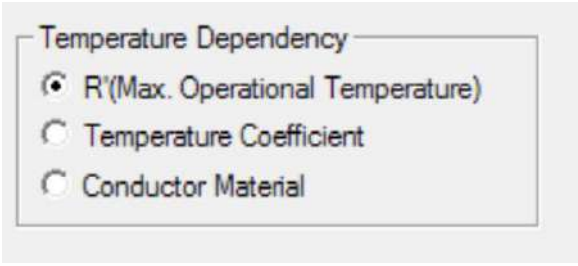
اطلاعات مورد نیاز پخش بار المان کابل در شکل (۲-۱۱۷) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۱۱۷): اطلاعات پخش بار بخش المان خط یا کابل

۱- بیشترین دمای مجاز کارکرد خط یا کابل

۲- برای مدل‌سازی اثر دما بر مقاومت کابل یا خط لازم است مقاومت خط یا کابل در دو دمای استاندارد و بیشینه وارد شود. البته همانند شکل زیر اطلاعات جایگزینی وجود دارد و باید بنا بر اطلاعات موجود از تجهیز، نحوه ورود اطلاعات را انتخاب نمود.



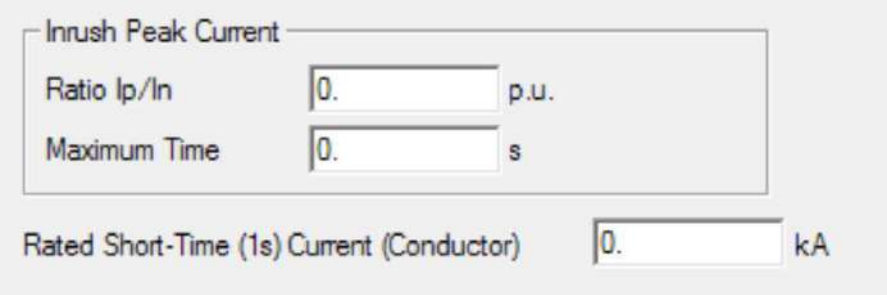
شکل (۲-۱۱۸): روش‌های جایگزین تاثیر دما بر مقاومت

۳- پارامترهای موازی خط که سوسپتانس و کاندوکتانس توالی‌های مثبت و منفی هستند وارد می‌شوند. البته تنها به طور معمول مقدار سوسپتانس برای کابل‌ها در نظر گرفته می‌شود و مقادیر دیگر پارامترها اختیاری هستند.

۴- همانند حالت قبل، در این قسمت مولفه توالی صفر پارامترهای موازی خط تعیین می‌شود. می‌توان به طور تقریبی این مقادیر را ۲ تا ۳ برابر پارامترهای موازی مولفه مثبت در نظر گرفت.

صفحه اطلاعات حفاظتی

در این قسمت میزان جریان هجومی نسبت به جریان نامی و بیشترین زمان آن وارد می‌شود. البته این اطلاعات برای کابل‌ها در نظر گرفته می‌شود و وارد کردن آنها در نرم‌افزار، انتخابی است. همین طور می‌توان حداکثر جریان که هادی می‌تواند در زمان یک ثانیه تحمل نماید را نیز وارد نمود.

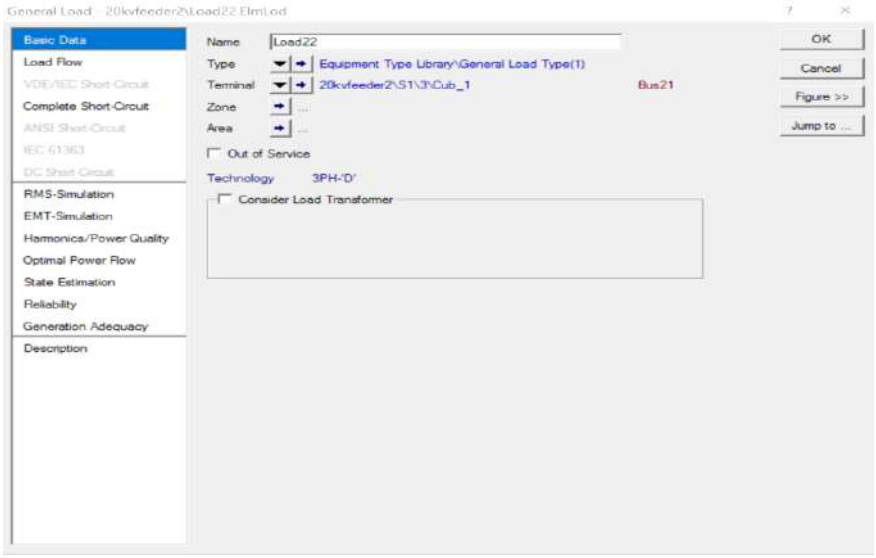


شکل (۲-۱۱۹): اطلاعات حفاظتی بخش تایپ خط یا کابل

۲-۸- مدل‌سازی بار

۲-۸-۱- بخش المان

شمای کلی بخش المان بار در نرم‌افزار در شکل (۲-۱۲۰) نشان داده شده است. در ادامه به معرفی بخش‌های مختلف خواهیم پرداخت.



شکل (۲-۱۲۰): شکل کلی بخش المان بار

صفحه اطلاعات پایه

شکل (۲-۱۲۱) اطلاعات پایه بخش المان بار را نشان می‌دهد. مطابق این شکل داریم:

شکل (۲-۱۲۱): اطلاعات پایه بخش المان مصرف کننده

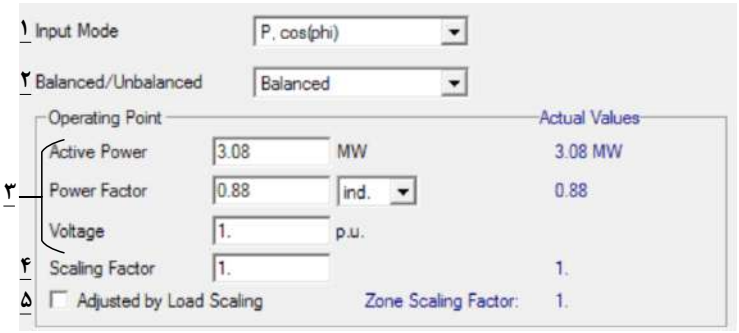
۱- نام انتخاب شده برای بار مورد نظر

۲- تایپ انتخابی برای بار و همینطور محل اتصال به شبکه

۳- با انتخاب این گزینه بار از دسترس خارج شده و در هیچ یک از مطالعات در نظر گرفته نخواهد شد.

صفحه مطالعات پخش بار

اطلاعات پخش بار بخش المان بار در نرم‌افزار در شکل (۲-۱۲۲) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۲-۱۲۲): اطلاعات پخش بار بخش المان مصرف کننده

۱- نوع ورودی توان بر حسب توان‌های ظاهری، اکتیو و راکتیو در این قسمت مشخص می‌شود.

۲- در این قسمت متعادل یا نامتعادلی بار مشخص می‌شود.

۳- بر اساس انتخاب نوع ورودی در قسمت ۱، مشخصات مصرفی بار در این قسمت مشخص می‌شود. همچنین در این قسمت مقدار اولیه ولتاژ را که برای مطالعات پخش بار و همین طور در حالتی که مقادیر مصرفی وابستگی به ولتاژ داشته باشند مورد استفاده قرار می‌گیرد، وارد می‌شود.

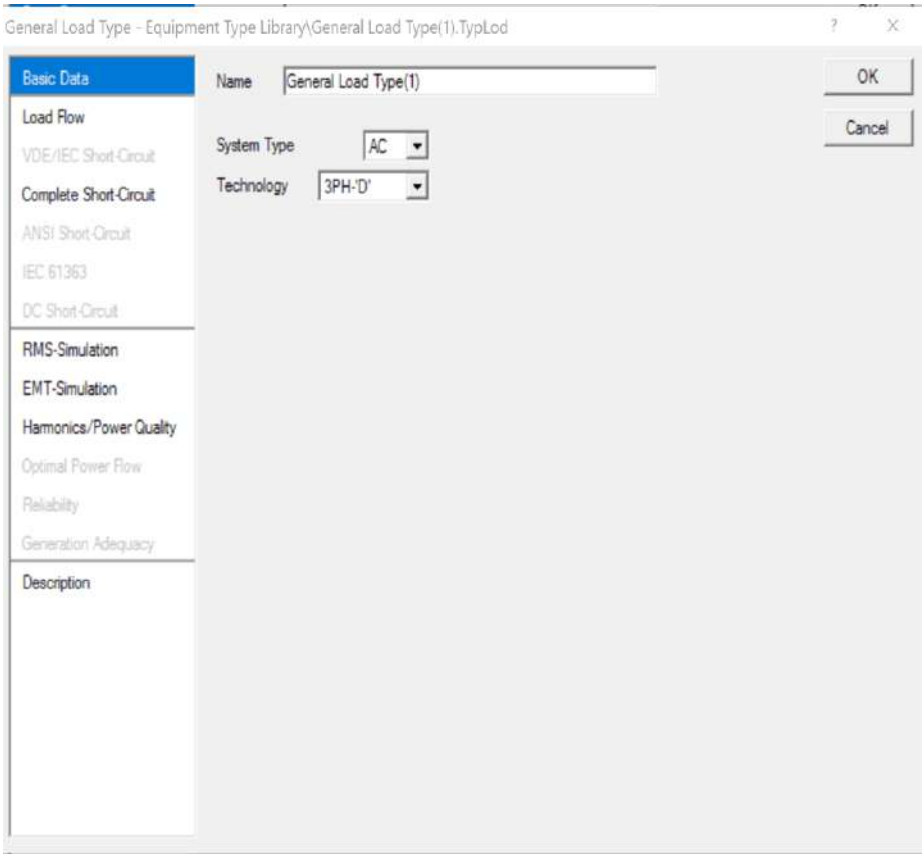
۴- عدد وارد شده در این قسمت، در مقدار توان مصرفی ضرب شده و در واقع می‌توان از آن برای ضریب تنظیم مصرف مشترکین دربازه‌های زمانی مورد مطالعه استفاده نمود.

۵- این قسمت همانند قسمت قبل می‌باشد. با این تفاوت که عدد ضرب شده در بار توسط مشخصات زونی که بار در آن قرار گرفته تعیین می‌شود.

بقیه اطلاعات کاربردی مورد نیاز در قسمت‌های قبل بیان شده است. تنها در قسمت مطالعات هارمونیکی می‌توان مقادیر خازن نصب شده در فشار ضعیف بار را نیز در نظر گرفت.

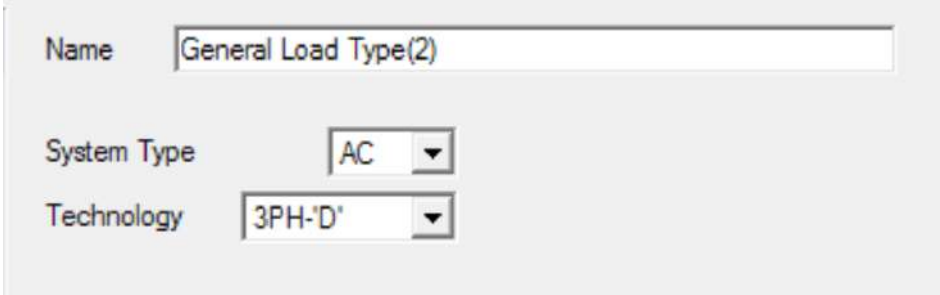
۲-۸-۲- بخش تایپ

شکل کلی بخش تایپ خط و کابل در نرم‌افزار در شکل (۲-۱۲۳) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۲۳): شکل کلی بخش تایپ بار

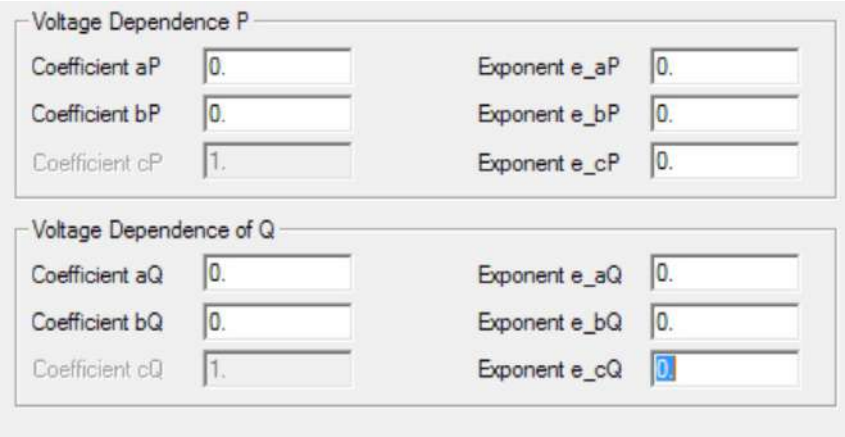
صفحه اطلاعات پایه



شکل (۲-۱۲۴): اطلاعات پایه بخش تایپ مصرف کننده

در این صفحه لازم است نام تایپ، نوع جریان مستقیم یا متناوب بودن بار و همینطور تعداد فاز و نوع ستاره، مثلث بودن آن مشخص می‌شود.

صفحه اطلاعات مربوط به پخش بار



شکل (۲-۱۲۵): اطلاعات پخش بار بخش تایپ مصرف کننده

در این قسمت ضرایب وابستگی توان‌های اکتیو و راکتیو به ولتاژ مشخص می‌شود. در صورت مدل‌سازی بار به صورت توان ثابت، ضرایب نشان داده شده در شکل (۲-۱۲۵) را باید وارد نمود.

۲-۹-نتیجه‌گیری

مدل‌سازی شبکه مورد مطالعه جهت اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه از اهمیت فراوانی برخوردار است. تمامی تجهیزات موجود در شبکه با توجه به نیازمندی‌های شبکه و همین طور سطح اطلاعات موجود باید به دقت در نرم‌افزار مدل‌سازی شوند و مطالعات لازم از جمله مطالعات پخش بار، اتصال کوتاه، کیفیت توان، حالت گذرا و سیستم زمین انجام گیرد. در این فصل نحوه مدلسازی شبکه، اطلاعات مورد نیاز جهت مدلسازی و همینطور نحوه انجام مطالعات مختلف در نرم‌افزار DIgSILENT جهت تهیه طرح اتصال بطور کامل و با جزئیات دقیق بیان شده است.

فصل سوم

مطالعات پخش بار

۳-۱- مقدمه

برنامه کامپیوتری پخش توان (همچنین به آن پخش بار نیز گفته می‌شود) یک ابزار پایه برای نیازمندی‌های ذکر شده سیستم قدرت می‌باشد. این برنامه ولتاژ باس‌ها و زاویه آن‌ها را تحت شرایط متعادل یا نامتعادل در شرایط ماندگار محاسبه می‌کند. این برنامه نیز شارش توان راکتیو و اکتیو برای تمام تجهیزات بین باس‌ها و همچنین تلفات را محاسبه می‌کند.

روش‌های متداول تحلیل گره یا مش برای پخش بار مناسب نیستند. اطلاعات ورودی بارها معمولا به جای امپدانس آنها بر اساس توان مصرفی آنها می‌باشد. همچنین، ژنراتورها به جای در نظر گرفته شدن به عنوان منبع ولتاژ و جریان، به عنوان منابع توان در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مسئله پخش توان یا بار به صورت یک دسته از معادلات جبری غیر خطی فرموله شده‌اند و مناسب برای حل به روش‌های کامپیوتری می‌باشند.

۳-۲- قیود

۱- تولید سیستم، بار و تلفات را تامین کند.

۲- ولتاژ باس‌ها در محدوده مجاز و نزدیک به مقادیر نامی خود باشند.

۳- بهره‌برداری ژنراتورها در محدوده مجاز توان اکتیو و راکتیو باشد.

۴- خطوط انتقال و توزیع و همچنین ترانسفورماتورها دچار اضافه بار نشوند.

۵- در حداقل بار شبکه (بار محلی و بار پست فوق توزیع) و حداکثر ظرفیت مولد (با ضریب توان بهره-برداری که در حالت بدبینانه ۰,۹ پس فاز در نظر گرفته می‌شود) اگر برگشت توان به شبکه بالادستی وجود دارد، بایستی ولتاژ در محل مولد بیش از حد مجاز نشود. همچنین در مواردی که بار شبکه پایین دست مولد یا برخی انشعابات مهم در اثر عملکرد تجهیزات حفاظتی قطع شود، بار شبکه از حداقل بار نیز کمتر می‌شود (حالت بی‌باری). در این شرایط هم نباید ولتاژ در محل مولد بیشتر از حد مجاز شود.

لازم به ذکر است که گاهی به دلیل جبران‌سازی اضافی خازن شنت[1]، ضریب توان فیدر بالادست خازن بصورت پیش فاز می‌شود. در این حالت بایستی ولتاژ در محل خازن‌ها نیز محاسبه شود تا اطمینان حاصل شود که ولتاژ آنها بیش از مقدار مجاز نباشد.

[1] Overcompensation

۶- در حداکثر بار شبکه و در حضور مولد، مناسب است محدودیت‌های بهره‌برداری (ولتاژ باسها، جریان عبوری از خطوط و ترانسفوماتورها) در حد مجاز باشد (ولتاژ بیش از حداقل مقدار مجاز باشد و جریان عبوری از هر بخش فیدر در حد جریان مجاز حرارتی آن باشد).

۷- در حداکثر بار شبکه و در حضور مولد، تلفات شبکه توزیع محاسبه شده و با مقدار تلفات، پیش از ورود مولد به مدار، مقایسه می‌شود. از تغییر تلفات می‌توان در بررسی توجیه‌پذیری اقتصادی اتصال مولد به شبکه (به ویژه از منظر شرکت توزیع) استفاده نمود. تغییرات تلفات از دو نظر در توجیه‌پذیری اقتصادی اتصال مولد به شبکه موثر است. با تغییر تلفات در حداکثر توان نیاز به گسترش بخش تولید و انتقال تغییر می‌کند و همینطور تغییر تلفات انرژی می‌تواند در بهینه کردن شرایط بهره‌برداری موثر باشد.

نکته‌ای که باید مد نظر قرار بگیرد این است که در محاسبه تغییر تلفات شبکه پس از اتصال منبع تولید پراکنده به آن، مدل‌سازی بار اهمیت زیادی دارد. توجه شود که اتصال مولد به شبکه غالبا باعث افزایش ولتاژ در طول فیدر متصل به مولد می‌شود. بنابراین اگر مدل بارهای موجود در شبکه بصورت امپدانس ثابت یا توان ثابت باشد، به ترتیب باعث افزایش و کاهش جریان شده و در نتیجه تلفات اهمی محاسبه شده با مقدار آن، قبل از اتصال مولد قابل مقایسه نیست. برای حل این مشکل، توصیه می‌شود که بار متصل به شبکه به هنگام محاسبه تلفات، بصورت جریان ثابت مدل شود و تلفات اهمی در حالت ورود و خروج مولد محاسبه شود.

در صورتی که امکان مدل‌سازی بار بصورت جریان ثابت در نرم‌افزار مورد استفاده وجود نداشت، روش دیگر این است که بار بصورت توان ثابت یا امپدانسی مدل شود و در عوض، بجای تلفات اهمی از شاخص درصد تلفات (یعنی تلفات اهمی به توان اکتیو مصرفی توسط بار) استفاده شود.

۸- در شرایط آتی شبکه توزیع و با در نظرگرفتن رشد بار (معمولاً ۵ سال آینده) بایستی ظرفیت برق پشتیبان (برای تولید محلی) بر اساس معیارهای زیر تعیین شود:

- ❖ پس از خروج مولد و با در نظر گرفتن برق پشتیبان به عنوان حداکثر بار محلی، بایستی محدودیت‌های بهره‌برداری (ولتاژ باس‌ها و جریان فیدرها) رعایت شود.
- ❖ پس از خروج مولد و با در نظر گرفتن برق پشتیبان به عنوان حداکثر بار محلی، جریان عبوری از وسایل حفاظتی موجود در شبکه توزیع محاسبه شده و در صورت نیاز، تنظیمات اصلاح شود و یا برق پشتیبان محدود گردد.

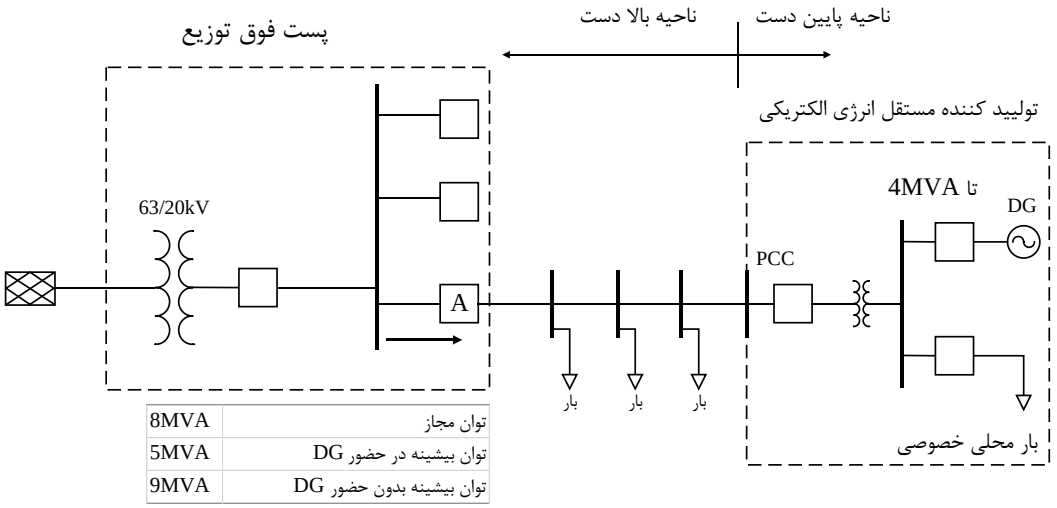
۹- پخش بار باید برای مانورهای مختلف شبکه در حالت‌های کم‌باری و پرباری انجام گردد.

۱۰- در پخش بار اضطراری و مطالعات N-1 Contingency تجهیزات دچار اضافه بار نگردند.

۱۱- در تمامی موارد ذکر شده لازم است که نتیجه مطالعات پخش بار قبل و بعد از اتصال منبع تولید پراکنده انجام شده و این دو حالت با هم مقایسه شوند.

لازم به ذکر است که در صورت خروج مولد از مدار، توان جذب شده از PCC[1] به بار محلی نمی‌تواند بیش از ظرفیت برق پشتیبان باشد. از طرف دیگر شرکت توزیع موظف به تامین برق پشتیبان می‌باشد.

برای مثال در شکل زیر با شرایط بهره‌برداری موجود در صورت خروج مولد، برای نگه داشتن شرایط بهره‌برداری در محدود مجاز (افت ولتاژ و جریان مجاز) تعیین شود که چه مقداری از بار محلی خصوصی را می‌توان تامین نمود که به آن برق پشتیبان گویند.



شکل (۳-۱): استفاده از منابع پراکنده به عنوان برق پشتیبان

۳-۳- ورودی‌ها

- مشخصات فنی و اطلاعات کامل تجهیزات شبکه از قبیل ژنراتور، ترانسفورماتور، بار، خط، کابل، خازن و ...
- محدوده مجاز پارامترهای شبکه (ولتاژ، بارگذاری تجهیزات و ...)
- بار حداقل و حداکثر در زمان انجام مطالعه و ترجیحا مدل بار (از نظر وابستگی به ولتاژ)
- پیک بار پیش بینی شده در آینده (معمولا پیش بینی ۵ ساله)
- ساختار شبکه تحت مطالعه در حالت‌های مختلف مانور در شبکه توزیع

[1] Point of Common Coupling

- تعیین حالتی از ساختارهای ممکن در شبکه توزیع که در آن، حداکثر امپدانس بین ژنراتور و شبکه بالادستی وجود دارد.
- ولتاژ تنظیمی تپ‌چنجر ترانسفورماتور پست فوق توزیع در حالت پیک بار و غیر پیک (یعنی ولتاژ باس بار فشار متوسط پست فوق توزیع در تابستان و زمستان)
- لازم است در مطالعات پخش بار مولد بصورت PQ مدل گردیده که P برابر با توان نامی است. Q تزریقی به شبکه باید به نحوی باشد که ضریب توان منبع تولید پراکنده ۰,۹ پس فاز (تزریق توان راکتیو به شبکه) باشد.

۳-۴- خروجی‌ها

- اندازه و فاز ولتاژ باس‌ها
- جریان عبوری از تجهیزات (ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط، بارها و ...)
- توان اکتیو، توان راکتیو، توان ظاهری و ضریب توان تجهیزات
- میزان بارگذاری تجهیزات
- نوع و سایز هادی متصل‌کننده منبع تولید پراکنده به شبکه و فیدری که مولد بر آن نصب می‌شود
- آلارم‌های سیستم (خروج مقادیر ولتاژ باس‌ها و بارگذاری تجهیزات از محدوده مجاز)

۳-۵- محدوده لازم شبیه‌سازی برای مطالعات پخش بار

فیدری که منبع تولید پراکنده به آن متصل است بایستی در مطالعات پخش بار مدل شود تا تاثیر مولد بر جریان و ولتاژ بخش بالادستی مولد و همچنین ولتاژ بخش پایین دستی مولد بررسی شود. در این فیدر فقط کافی است شاخه اصلی مدل شود و شاخه‌های فرعی[1]، بصورت بار نقطه‌ای مدل می‌شوند (مگر اینکه جهت توان اکتیو یا راکتیو به سمت شاخه فرعی نباشد).

[1] lateral

چنانچه سایر فیدرهای فشار متوسط خروجی به بار متصل باشند، جهت توان اکتیو و راکتیو از باس بار به سمت فیدر خواهد بود. در این حالت نیازی به مدل‌سازی آن فیدر نبوده و می‌توان آن را به صورت یک بار نقطه‌ای متصل به باس بار فشار متوسط پست فوق توزیع در نظر گرفت.

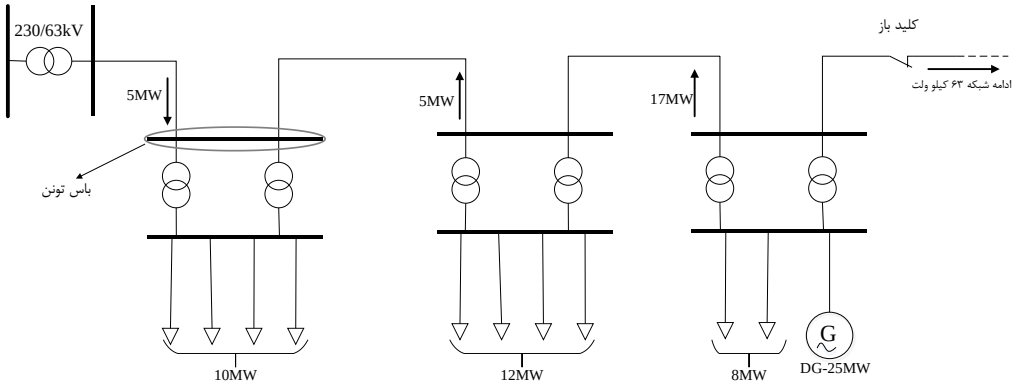
در صورتی که به سایر فیدرهای خروجی، خازن با جبران‌سازی اضافی متصل باشد به نحوی که جهت توان راکتیو از آن به سمت شینه پست فوق توزیع باشد، باید آن فیدر تا محل خازن مدل شود و سایر بخش‌های آن فیدر را می‌توان بصورت بار نقطه‌ای نمایش داد.

همچنین سایر فیدرهای خروجی نیز به مولد دیگری متصل باشند، لازم است حداقل تا محل مولد، آنها را مدل نمود. همچنین در صورت اتصال مولد به پست فوق توزیع باید پست فوق توزیع مدل‌سازی گردد.

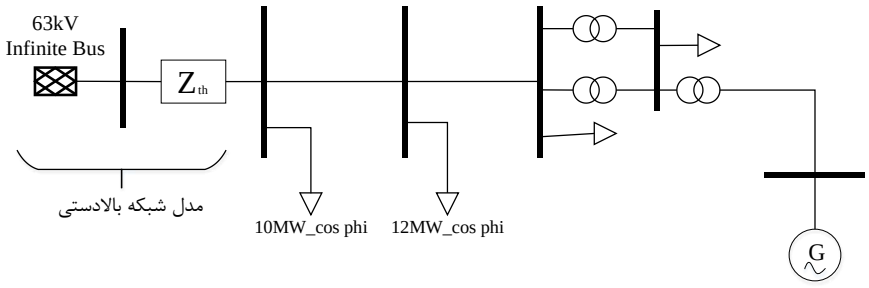
۳-۵-۱-محدوده لازم از شبکه بالادستی برای مطالعات پخش بار

در صورتی که مجموع توان اکتیو یا راکتیو تولیدی در شبکه فشار متوسط پست توزیع، بیش از مجموع بار متصل به پست فوق توزیع (در حالت کمینه بار) باشد، بهتر است بخش‌های از شبکه ۶۳ کیلوولت نیز در مدل‌سازی در نظر گرفته شود (تا جایی که توان اکتیو و همچنین توان راکتیو به سمت شبکه بالادستی نباشد) و بقیه شبکه بصورت تونن مدل شود. در غیر اینصورت کافی است که از باس بار ۶۳ یا ۱۳۲ کیلوولت پست فوق توزیع، معادل تونن شبکه در نظر گرفته شود.

برای مثال در شکل (۳-۲) یک منبع تولید پراکنده به باس ۲۰ کیلوولت وصل شده است. بارها در وضعیت حداقل خود هستند و همین طور که نشان داده شده است، توان تولیدی مولد از بار محلی بیشتر بوده و وارد شبکه ۶۳ کیلوولت می‌شود. باس فرض شده به عنوان باس بینهایت مکانی است که از هر دو طرف شبکه اصلی و منبع تولید پراکنده همانند شکل (۳-۳) تغذیه می‌شود.



شکل (۳-۲): شبکه ۶۳ کیلوولت و انتخاب باس تونن



شکل (۳-۳): شبکه معادل سازی شده با تجهیز باس بینهایت

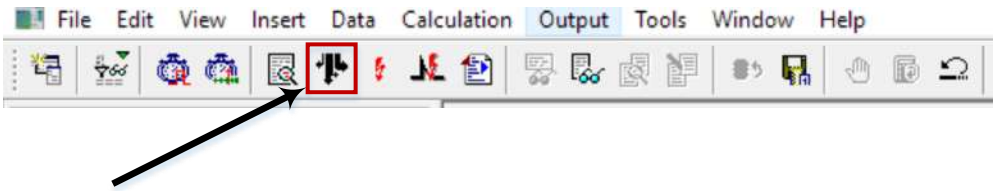
۳-۶- پیاده‌سازی نرم‌افزاری

۳-۶-۱-اطلاعات مورد نیاز تجهیزات

با توجه به توضیحات ارائه شده برای مدلسازی هر تجهیز در فصل ۲، اطلاعات مورد نیاز برای مطالعات پخش بار در پنجره‌های مربوط توضیح داده شده است. به دلیل اینکه ممکن است بعضی از پارامترهای تجهیزات در دسترس نباشد مدل‌سازی تجهیزات باید بر اساس پارامترهای موجود انجام گیرد.

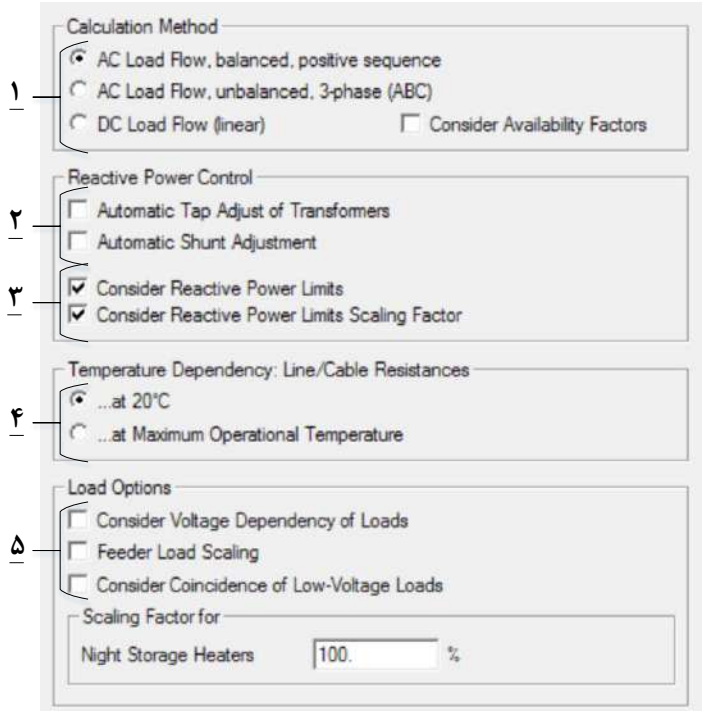
۳-۶-۲- تنظیمات ابزار مطالعات پخش بار

همانند شکل زیر با انتخاب نماد مربوط به پخش بار وارد ابزار مطالعات پخش بار می‌شویم.



شکل (۳-۴): نماد مربوط به محاسبات پخش بار

تنظیمات پخش بار مطابق با شکل (۳-۵) می‌باشد:



شکل (۳-۵): تنظیمات مطالعات پخش بار

۱- در این قسمت نوع مدل پخش بار برای مطالعات مربوطه انتخاب می‌شود. برای اهداف ذکر شده می‌توان از پخش بار سه فاز متعادل استفاده نمود. در صورت نامتعادلی شبکه و وجود اطلاعات بارهای هر فاز، می‌توان برای بالا بردن دقت محاسبات، از پخش بار سه فاز نامتعادل استفاده نمود.

۲- در این قسمت با انتخاب این دو گزینه به ترتیب می‌توان به صورت خودکار تپ ترانسفورماتورها و همین طور سوییچ زنی بانک خازنی یا راکتور موازی را برای رسیدن به یک پخش بار مطلوب تغییر داد. البته همان طور که در فصل دو توضیح داده شد این امکان باید در قسمت‌های تعریف تجهیزات مربوطه فعال شده باشد. از تنظیمات به دست آمده می‌توان برای اصلاح تپ ترانسفورماتور فوق توزیع و مقدار بانک خازنی یا راکتور در حالت وجود منبع تولید پراکنده استفاده نمود.

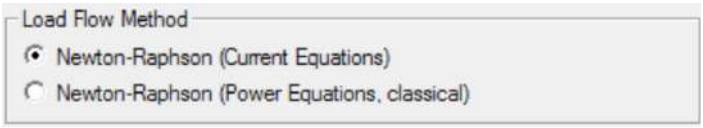
۳- با انتخاب این دو گزینه در صورتی که در مراحل تکراری پخش بار، مقادیر توان اکتیو و راکتیو تجهیزات از محدوده مجاز خارج شود برنامه پخش بار متوقف خواهد شد. در غیر اینصورت در صورت خروج این مقادیر از محدوده مجاز، پخش بار انجام شده و در انتها یک پیام اخطار نشان داده خواهد شد. با توجه به اینکه مد کنترلی منابع تولید پراکنده PQ می‌باشند، انتخاب یا عدم انتخاب این دو گزینه تاثیری بر حل پخش بار نخواهد داشت.

۴- با توجه به اینکه با افزایش دما، مقاومت خطوط و کابل‌ها نیز افزایش می‌یابد و این امر می‌تواند بر جواب پخش بار نیز تاثیرگذار باشد. با انتخاب محاسبه مقاومت در بیشترین دما با توجه به اینکه شرایط

پرباری سیستم عموما در زمان‌های با درجه محیطی بالا (معمولا تابستان) رخ می‌دهد، می‌توان شبیه‌سازی را به طور دقیق‌تری انجام داد.

۵- در این قسمت می‌توان وابستگی مقدار بار به ولتاژ و در نظر گرفتن ضریب تغییرات را برای مدل‌سازی بارها در مسئله پخش بار در نظر گرفت.

نوع معادلات پخش بار



شکل (۳-۶): انتخاب نوع معادلات پخش بار

برای شبکه‌های توزیع و به خصوص شبکه‌های سه فاز نامتقارن بهتر است از معادلات جریانی نیوتن-رافسون، استفاده شود. در مورد دیگر تنظیمات ابزار پخش بار، بهتر است از مقادیر پیش فرض نرم‌افزار استفاده نمود.

۳-۷- اجرای برنامه پخش بار و صحت سنجی نتایج پخش

ابتدا لازم است که مراحل گفته شده انجام شود. همین طور لازم است که از روند مدل‌سازی تمام تجهیزات و همین طور مدل‌سازی صحیح شبکه اطمینان حاصل نمود. سپس با توجه به اهداف ذکر شده اقدام به اجرای برنامه پخش بار در سناریوها و آرایش‌های مختلف شبکه نمود. احتمال دارد برنامه دچار خطا و اشتباهاتی شود که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

۳-۷-۱-عیب یابی مشکلات و خطاهای محاسبه پخش بار

به طور کلی، اگر یک راه حل وجود داشته باشد (به بیان دیگر، شبکه از لحاظ ریاضی قابل حل باشد) نرم‌افزار راه حل را پیدا خواهد کرد. در بعضی موارد کاربر ممکن است یک خطا در فرآیند پیاده‌سازی مرتکب شود که باعث شود راه حل ممکنی وجود نداشته باشد. مانند یک بار بزرگ که باعث افت ولتاژ بسیار شدید شود که منجر به واپاشی ولتاژ شبکه می‌شود. این پدیده همچنین در سیستم قدرت واقعی نیز قابل مشاهده است.

در هنگام ایجاد شبکه برای اولین بار بهتر است ابتدا اطلاعات یک قسمت کوچک یا یک "مسیر" شبکه ایجاد شود و سپس شبکه به وسیله یک برنامه پخش بار حل شود. نرم‌افزار DIgSILENT یک فرایند تایید اطلاعات مشخصی را اجرا می‌کند. مانند اینکه آیا یک خط بین دو باس با ولتاژ یکسان متصل شده است یا اینکه جهت‌یابی ولتاژی ترانسفورماتور به درستی انجام شده است یا خیر و غیره.

دلایل معمول برای عدم همگرایی پخش بار عبارتند از:

مشکلات مدل داده‌ها:

در نرم‌افزار DIgSILENT صحت سنجی اطلاعات در سه سطح مختلف انجام می‌شود.

- سطح پارامتر

ثبات پارامترهای ورودی باید بررسی شود. برای مثال، وارد کردن یک مقدار منفی برای طول خط باعث ایجاد یک پیغام خطا می‌شود. دیگر تایید سنجی اطلاعات پیاده‌سازی شده شامل چک کردن در محدوده مجاز بودن پارامترهای ورودی می‌باشد.

- سطح تجهیز

اطلاعات ورودی خود تجهیز باید چک شود. برای مثال، باید بررسی شود که تلفات مغناطیسی ترانسفورماتورها کمتر از توان ظاهری مغناطیس کنندگی نامی (یعنی جریان مغناطیس کنندگی) باشد.

- سطح سیستم

اطلاعات باید از نقطه نظر سیستم نیز چک شود. برای مثال، باید بررسی شود که ولتاژ دو سمت خطوط و کابل‌ها یکسان باشند یا سمت فشار قوی یا فشار ضعیف ترانسفورماتور به سطوح ولتاژ مربوطه متصل شده باشد. یا تایپ مورد نیاز برای هر تجهیز تعریف شده باشد.

تعداد تکرارهای بیشتر از حد مشخص شده توسط برنامه پخش بار

معمولا این مشکل به دلیل ناپایداری ولتاژ (واپاشی ولتاژ) رخ می‌دهد. برای مثال، همانطور که گفته شد ممکن است، یک بار بزرگ باعث افت ولتاژ شدید و واپاشی ولتاژی سیستم گردد. همچنین اتصال ضعیف سیستم نیز می‌تواند باعث این پدیده می‌شود.

عدم تطابق بیش از حد خطای پخش بار

در حالتی که یک عدم تطابق بزرگ بین تولید و مصرف (بیش از ۱۵ درصد) پخش بار بعید است که همگرا شود.

لازم به ذکر است با توجه به ساختار شبکه مورد نظر برای پیاده‌سازی و وجود دارد و وجود یک باس بینهایت به عنوان شبکه بالادستی، احتمال وقوع عدم تطابق تولید و مصرف در شبکه توزیع مورد نظر وجود ندارد.

۳-۷-۲- صحت سنجی نتایج

پس از اجرای موفق برنامه پخش بار لازم است که تمامی اطلاعات خروجی به دقت بررسی شود و در صورت وجود خروجی نامتعارف به بررسی دقیق و ریشه‌یابی این خروجی پرداخته شود. در صورت وجود اطلاعات نادرست در بخش پیاده‌سازی تجهیزات و شبکه لازم است اقدامات اصلاحی صورت پذیرد.

۳-۸- تحلیل نتایج پخش بار

پس از اطمینان صحت اطلاعات خروجی برنامه پخش بار،لازم است اطلاعات خروجی بر اساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوط به اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه از لحاظ محدودیت‌های الکتریکی مانند محدود مجاز ولتاژ سیستم (۵± درصد ولتاژ نامی) و همینطور بارگیری مجاز خطوط (تا ۸۰ درصد بار نامی) بررسی شود. در صورت مجاز بودن نتایج خروجی پخش بار اتصال مولد به شبکه از دیدگاه مطالعات پخش بار مجاز می‌باشد.

در صورت مغایرت نتایج پخش بار با استاندارد لازم است در طرح اتصال بازنگری انجام شود. این بازنگری می‌تواند شامل تغییر تجهیزات مورد استفاده اعم از تغییر سطح مقطع هادی‌های مختلف، تغییر تنظیمات ولتاژ و در صورت لزوم استفاده از تنظیم کننده‌های ولتاژ و ... می‌باشد. ممکن است تغییراتی در محل نصب و همینطور توان خروجی مولد انجام شود. این تغییرات لازم است با هماهنگی کامل شرکت برق مربوطه و سرمایه‌گذار صورت گیرد.

۳-۹- نتیجه‌گیری

مطالعات پخش بار یکی از اساسی‌ترین مطالعاتی است که در شبکه قدرت انجام می‌گیرد. به وسیله این مطالعه می‌توان از کارکرد مجاز شبکه در محدوده ولتاژ و جریان مجاز در حالت‌های مختلف اطمینان حاصل نمود. با اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه و حالت‌های مختلف بهره‌برداری اعم از کم باری و یا پرباری ممکن است جریان و ولتاژ سیستم از محدوده مناسب خارج شده که در این صورت باید اقدامات اصلاحی و یا بازنگری در طرح اتصال را انجام داد. در این بخش نحوه انجام مطالعات پخش بار و اهداف انجام این مطالعات بطور دقیق بیان گردید.

فصل چهارم

مطالعات اتصال کوتاه

۴-۱- مقدمه

یکی از مهمترین پارامترهای شبکه توزیع که در بسیاری از امور مانند بهره برداری، حفاظت و کنترل بهینه و مطلوب سیستم توزیع موثر است سطح اتصال کوتاه شبکه توزیع می‌باشد. اتصال منابع تولید پراکنده می‌تواند تاثیر بالقوه‌ای بر مقدار سطح اتصال کوتاه در نواحی مختلف شبکه توزیع همانند بالادست یا پایین دست فیدر توزیع (در صورت نصب شدن منبع تولید پراکنده در طول فیدر توزیع) باس بار ۲۰ کیلوولت پست فوق توزیع و همینطور شبکه بالادست داشته باشد. بنابراین مطالعه سطح اتصال کوتاه یکی از مطالعات اساسی است که لازم است در بررسی شرایط نصب منبع تولید پراکنده در دو حالت با وجود و عدم وجود آن مورد مطالعه قرار بگیرد و در صورت لزوم، تغییراتی در ساختار حفاظتی و کلیدهای قدرت و دیگر مکانیزم‌های کنترلی-حفاظتی سیستم اعمال گردد.

عمده ترین آثار سوء اتصال کوتاه بر شبکه توزیع الکتریکی و اجزای آن عبارتند از:

۱- جریان بسیار قابل توجه‌ای از تجهیزاتی که در مسیر جریان اتصال کوتاه قرار دارند می‌گذرد که این جریان بالا (عمدتا بیشتر از جریان نامی حد تحمل تجهیزات است) می‌تواند باعث آسیب‌های حرارتی (ناشی از ایجاد تلفات در تجهیز) شده و همین‌طور ایجاد نیروی الکترومغناطیسی کرده که می‌تواند آسیب‌های جدی و مخرب برای برخی از تجهیزات (ترانسفورماتورها و ژنراتورها) به همراه داشته باشد.

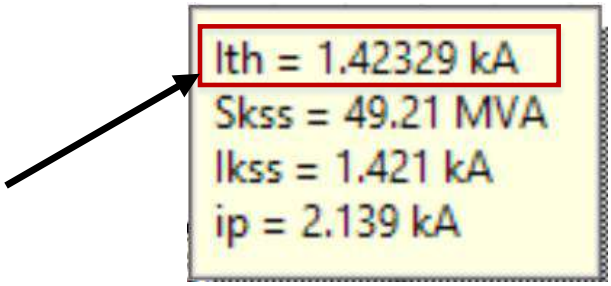
۲- در شرایط اتصال کوتاه، ولتاژ بیشتر باس‌های شبکه توزیع تحت تاثیر اتصال کوتاه افت شدیدی پیدا کرده و ممکن است به مصرف کنندگان خسارت وارد شود.

۳- در صورت تداوم شرایط اتصال کوتاه شبکه منبع تولید پراکنده ممکن است پایداری خود را از دست بدهد. در مورد علت این پدیده در بخش مطالعات حالت گذرای بیشتر به آن پرداخته خواهد شد.

۴-۲- اهداف

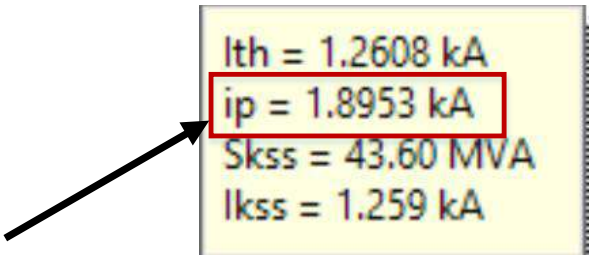
۱- بررسی توانایی تحمل حرارتی و مکانیکی تجهیزات در عبور جریان اتصال کوتاه

۱-۱- کلیه تجهیزاتی که جریان اتصال کوتاه از آنها عبور می‌نماید (هادی، انواع قطع کننده و ترانسفورماتورهای جریان) بایستی قادر به عبور I_{th} (حد جریان حرارتی) در زمان T_K ثانیه باشند که T_K معمولا برابر با ۱ یا ۳ ثانیه در نظر گرفته می‌شود. مقدار جریان حد حرارتی را می‌توان جزو خروجی‌های نرم‌افزار همانند شکل زیر قرار داد.



شکل (۴-۱): حد حرارتی جریان

۱-۲- کلیه تجهیزات بایستی توانایی تحمل نیروی الکترودینامیکی ناشی از پیک جریان اتصال کوتاه را داشته باشند. بر اساس استاندارد IEC مربوط به تجهیزات مختلف، مقدار نامی پیک جریان اتصال که ۲٫۵ برابر مقدار نامی مقدار موثر جریان اتصال کوتاه متقارن در نظر گرفته می‌شود. بنابراین بایستی مولفه دینامیکی جریان اتصال کوتاه (پیک جریان اتصال کوتاه که حاوی مولفه‌های dc و ac میراشونده نیز می-باشد) نیز در شبکه مورد مطالعه تعیین شود که این مقدار در نرم‌افزار برابر با i_p در نظر گرفته می‌شود. این مقدار نیز به وسیله نرم‌افزار قابل محاسبه است و می‌توان مقدار آن را همانند شکل زیر مشاهده کرد.



شکل (۴-۲): مقدار بیشینه جریان خطا

در نهایت، مقدار موثر جریان اتصال کوتاه متقارن از رابطه زیر تعیین می‌شود (ضریب ۱٫۱ حاشیه اطمینان است).

$$I_{sc_n} \geq Max\left\{I_{th}, \frac{i_p}{2.5}\right\} \times 1.1 \qquad (۱-۴)$$

بنابراین حد قابل تحمل جریان قابل تجهیز با توجه به این دو حد حرارتی و پیک جریان اتصال کوتاه به دست می‌آید.

۲- بررسی توانایی قطع جریان اتصال کوتاه

۲-۱- تجهیزات قطع کننده جریان خطا (شامل کلید، فیوز و ریکلوزر) بایستی دارای قدرت قطع کافی باشند. با توجه به اینکه جریان اتصال کوتاه شبکه توزیع در حضور ژنراتورهای سنکرون و آسنکرون، حاوی مولفه ac و dc میرا شونده است، بنابراین در تعیین قابلیت قطع کلید، بایستی به میرا شدن جریان اتصال کوتاه (پس از گذشت زمان معادل با مجموع زمان عملکرد رله و تاخیر مکانیزم فرمان کلید) توجه شود.

در عمل می‌توان گفت جریان خطایی که بایستی توسط کلید قطع شود، جریان اتصال کوتاه محاسبه شده در زمان حدود ۴۰ تا ۵۰ میلی ثانیه پس از رخداد خطا می‌باشد که برابر با I''_{K2} در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است که به دلیل میرا شدن مولفه ac جریان خطا، این مقدار از مقدار اولیه جریان خطا I''_{K} کمتر است.

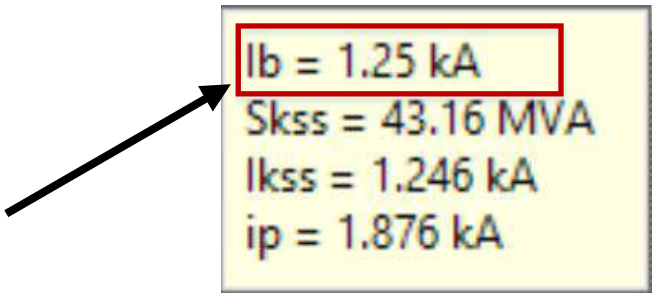
۲-۲- در صورتی که در تعیین I''_{K2} بر مبنای محاسبات تئوری و یا بر مبنای برنامه‌های شبیه‌سازی مورد استفاده، اثر مولفه dc جریان خطا در نظر گرفته نشود، می‌توان جریان موثر در قطع کلید قدرت را بر اساس رابطه زیر محاسبه نمود.

$$I_{breaking} = I''_{K2} \times \sqrt{1+2\times F_{dc}^2} \qquad (۲-۴)$$

$$F_{dc} = e^{-t/\tau} \qquad (۳-۴)$$

که در این رابطه I''_{K2} مقدار موثر جریان اتصال کوتاه در t ثانیه پس از وقوع خطا است. t فاصله زمانی بین وقوع خطا تا لحظه باز شدن کنتاکتهای کلید است که برابر با ۴۰ تا ۵۰ میلی ثانیه در نظر گرفته می‌شود. τ ثابت زمانی مولفه dc جریان خطای عبوری از کلید است.

نرم افزار DIgSILENT می‌تواند مقادیر قطع کلید قدرت را به عنوان یکی از خروجی‌های مطالعات پخش بار همانند شکل زیر محاسبه نماید.



شکل (۴-۳): مقدار جریان قطع کلید

۲-۳- کلید قدرت در صورتی قادر به قطع جریان اتصال کوتاه نامی است که کنتاکت‌های آن سالم باشند و خوردگی مکانیکی در آنها ایجاد نشده باشد. بعلاوه لازم است از نظر عایقی محفظه قطع نیز در وضعیت مناسبی باشد. به طور مثال در کلید SF6 به دلیل عوامل زیر ممکن است قدرت قطع کلید کمتر از مقدار نامی آن می‌باشد. از این رو توصیه می‌شود، جریان نامی قطع کلید، بین ۱,۱ تا ۱,۲ برابر $I_{breaking}$ در نظر گرفته شود.

- افزایش رطوبت موجود در محفظه قطع (بیش از حد مجاز)
- کاهش فشار گاز SF_6 محفظه قطع

- ❖ استفاده از ترکیب N_2 و SF_6 بجای SF_6 خالص
- ❖ کاهش کیفیت گاز SF_6 به دلیل عملکردهای قبلی کلید

۲-۴- یکی دیگر از پارمترهای مهم در انتخاب کلید، قدرت اتصال آن در شرایط اتصال کوتاه است. این پارامتر عموما بر حسب مقدار جریان قطع $I_{breaking}$ و بر اساس استاندارد IEC60947-2 به دست می‌آید.

۳- تنظیم رله‌های حفاظت ژنراتور و اطمینان از عملکرد وسایل حفاظتی مشترکین

۳-۱- در صورت تغذیه شبکه فشار متوسط توسط مولد مقیاس کوچک بصورت جزیره‌ای، بایستی نسبت به عملکرد رله‌های جریان زیاد و کات اوت فیوزها در سطح شبکه فشار متوسط (به ازای خطای فاز به زمین و همچنین فاز به فاز) اطمینان حاصل شود.

بنابراین لازم است به قابلیت AVR ژنراتور در تامین مولفه راکتیو جریان خطا به همراه دینامیک و مدت زمان تداوم آن و به قابلیت تامین مولفه‌های اکتیو و راکتیو جریان خطا توسط مولدهای با واسط اینورتری با توجه به جریان نامی کلیدهای الکترونیک قدرت بکار رفته و سیستم خنک‌کننده آنها توجه نمود.

۳-۲- در صورت تغذیه شبکه فشار ضعیف توسط مولد مقیاس کوچک بصورت جزیره‌ای، بایستی نسبت به عملکرد رله‌های جریان زیاد و به ویژه فیوزها در سطح شبکه فشار ضعیف و همچنین در محل مصرف‌کنندگان اطمینان حاصل شود و در صورت نیاز اقدامات زیر صورت گیرد:

- ❖ بجای فیوز از MCB[1] استفاده شود (فیوز در ۲,۵ برابر جریان نامی عملکرد دارد ولی MCB در ۱,۵ برار جریان نامی خود عمل می‌کند).
- ❖ فیدرهای بزرگ با جریان زیاد به تعدادی فیدرهای کوچک تقسیم شود تا بتوان از MCB یا فیوزهای با جریان نامی کمتر استفاده نمود. زمانی که جریان اتصال کوتاه در حالت کارکرد جزیره‌ای (در صورت لحاظ شدن این حالت کاری برای منبع تولید پراکنده) به اندازه‌ای بزرگ نباشد که باعث عملکرد مطمئن تجهیزات حفاظتی موجود گردد، می‌توان از این روش استفاده نمود.

۴- اطمینان از مناسب بودن ترانسفورماتورهای جریان[2]

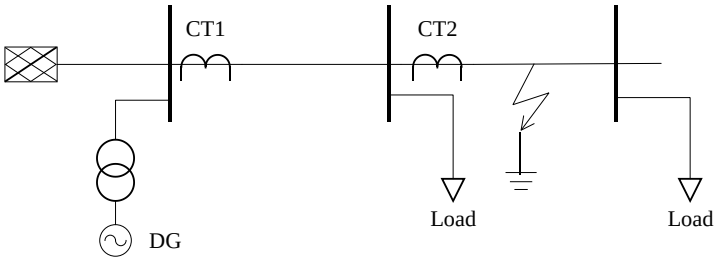
---

[1] Miniature Circuit Breaker

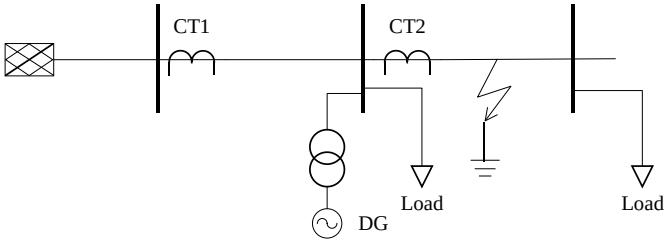
[2] Current Transformer

۴-۱- با افزایش دامنه و ثابت زمانی مولفه dc جریان اتصال کوتاه ناشی از اتصال ژنراتور تولید پراکنده القایی سنکرون به شبکه توزیع، احتمال اشباع ترانسفورماتور جریان افزایش می‌یابد که ممکن است باعث عدم هماهنگی حفاظتی رله‌های جریان زیاد گردد. مثلا در شبکه‌های زیر ممکن است اشباع CT2 باعث ایجاد ناهماهنگی با رله تغذیه شده از CT1 شود.

برای مثال در شکل زیر به دلیل اینکه جریان خطای یکسانی از هر دو ترانسفورماتور جریان CT1 وCT2 عبور می‌کند. و در صورت زیاد بودن مقدار جریان خطا، هر دو ترانسفورماتور جریان با هم به اشباع می‌رود و هماهنگی حفاظتی بین این دو تغییری نمی‌کند. اما در شکل دوم به دلیل وجود منبع تولید پراکنده در وسط فیدر، جریان عبوری از این دو ترانسفرماتور جریان متفاوت بوده و ترانسفورماتور جریان CT2 به اشباع رفته و هماهنگی حفاظتی بین دو رله اضافه جریان متصل به ترانسفورماتورهای جریان از بین میرود.

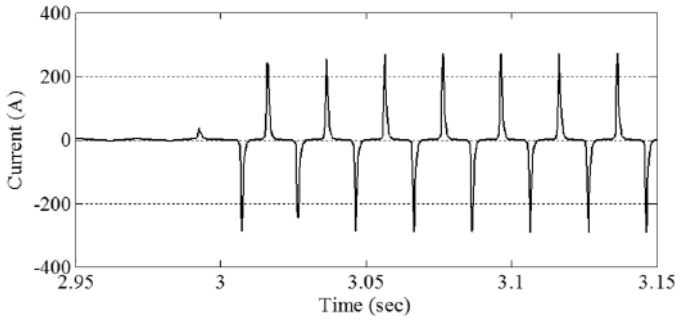


شکل (۴-۴): گذر جریان یکسان از هر دو ترانسفورماتور جریان و حفظ هماهنگی حفاظتی



شکل (۴-۵): گذر جریان مختلف از دو ترانس جریان و احتمال اشباع و ناهماهنگی حفظاظتی

شکل زیر، شکل موج جریان سمت ثانویه یک ترانسفورماتور جریان اشباع شده است را نشان می‌دهد.



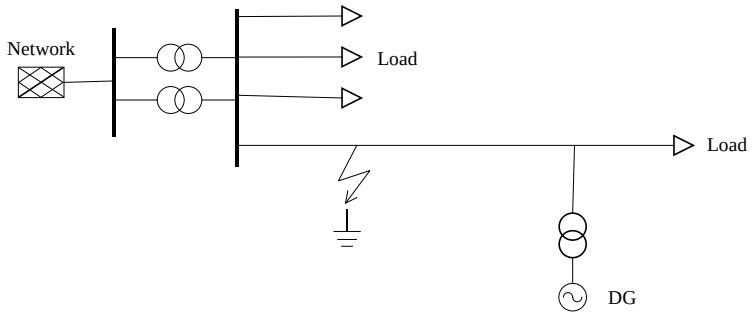
شکل (۴-۶): نمونه شکل موج خروجی ترانس جریان اشباع شده

۴-۲- با افزایش دامنه جریان اتصال کوتاه پس از اتصال ژنراتور تولید پراکنده القایی یا سنکرون به شبکه توزیع ممکن است:

- ❖ جریان عبوری از CT نظر حرارتی در حد تحمل نباشد.
- ❖ ممکن است جریان عبوری از ثانویه CT در حد تحمل تجهیزات متصل به ثانویه CT (نظیر رله‌ها یا وسایل اندازه‌گیری) نباشد.

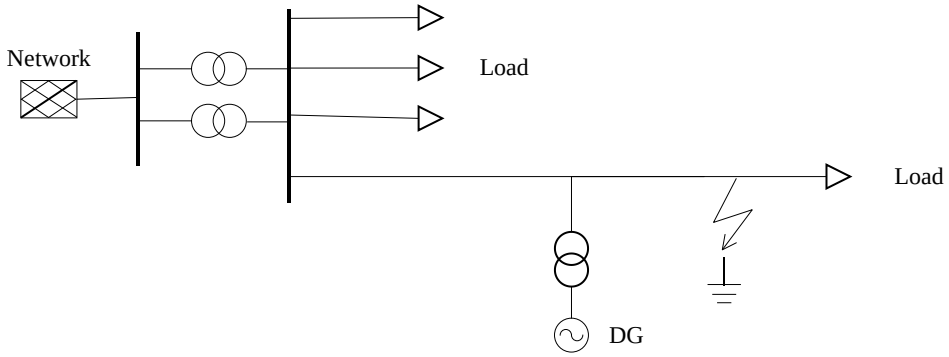
بنابراین در CTهای ابتدایی فیدر و همچنین در طول فیدر (به ویژه در اولیه ترانسفورماتورهای توزیع) بایستی نیازمندی‌های مذکور بررسی شود.

برای محاسبه مقدار جریان خطای عبوری از مولد در هنگام خطا، اگر همانند شکل زیر که منبع تولید پراکنده در طول فیدر نصب شده است خطا در بالادست مولد رخ بدهد برای محاسبه جریان اتصال کوتاه عبوری از مولد، نیازی به مدل سازی شبکه نیست.



شکل (۴-۷): وقوع خطا در بالادست مولد پراکنده

اگر محل خطا در شبکه پایین دست مولد باشد، برای محاسبه جریان اتصال کوتاه عبوری از مولد لازم است شبکه نیز مدل شود تا اثر افت ولتاژ ناشی از جریان شبکه لحاظ گردد.



شکل (۴-۸): وقوع خطا در پایین دست مولد پراکنده

۵- افزایش جریان اتصال کوتاه فاز به زمین در حضور ژنراتور ولتاژ ضعیف از نوع Bus-connected

در ژنراتورهای فشار ضعیف چهارسیمه که مصرف‌کنندگان تکفاز را نیز تغذیه می نماید، جریان خطای فاز به نول بزرگتر از جریان خطای سه فاز است. در صورتی که اتصال ژنراتور به شبکه فشار ضعیف از نوع Bus-connected باشد بایستی ژنراتور به نحوی طراحی شود که جریان اتصال کوتاه فاز بـه زمـین را نیـز تحمل نماید. این نیازمندی حتما بایستی به سازنده ژنراتور بیان شود. لازم به ذکر اسـت کـه ژنراتورهـای فشار متوسط، بصورت چهارسیمه بهره برداری نشده و چنین نیازمندی در مورد آنها وجود ندارد.

در حالت فوق بایستی دقت نمود که جریان خطای فاز به نول در شبکه نیز خیلی بزرگ می شود. اگـر این جریان بیش از مقدار مجاز باشد، می توان از یک کلید در نـوترال ژنراتـور اسـتفاده نمـود. در صـورت اتصال ژنراتور به شبکه سراسری می توان کلید مذکور را بـاز کـرد و در صـورت بهـره بـرداری جزیـره ای بایستی کلید نوترال در حالت بسته باشد.

۶- محاسبه Arc flash hazard

با افزایش سطح اتصال کوتاه، خطرات ناشی از ایجاد قوس الکتریکی در تجهیزات و به ویژه تابلوها نیـز زیاد می شود. این نکته در حالتی که سهم مولد در جریان عبوری از محل اتصال کوتاه زیاد است، اهمیت ویژه ای دارد. یکی از مصادیق این موضوع، حالتی است که مولد با ظرفیت نسبتا زیاد مستقیما بـه سـطح فشار ضعیف (۴۰۰ ولت) متصل می‌شود.

در این مورد باید به نکات زیر توجه نمود:

- بررسی arc proof بودن تابلوهای فشار ضعیف برای سطح اتصال کوتاه جدید (پـس از اتصـال مولد به شبکه توزیع)
- محاسبه انرژی منتقل شده به هنگام ایجاد قوس در تابلو و تعیین فواصل ایمنـی سـه گانـه و تجهیزات حفاظتی فردی مورد نیاز برای ایمن بودن در برابر قوس

برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به استانداردهای IEEE 1584 و NFPA 70E مراجعه شود.

۷- بررسی تاثیر افت ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه بر مصرف‌کنندگان

در محل‌های مختلف شبکه باید بررسی شود که با توجه به تنظیم رله‌های حفاظتی موجود، اتصال کوتاه تا چه زمانی استمرار دارد و چه میزان افت ولتاژ در شبکه ایجاد می‌نماید. ضمنا موارد زیر در سه حالت تغذیه فقط از شبکه، فقط از مولد (بهره‌برداری جزیره‌ای) و تغذیه از مولد متصل به شبکه، بررسی گردد:

- قابل تحمل بودن افت ولتاژ موقت برای مصرف کنندگان
- بررسی در مدار ماندن بارهای کنتاکتوری در مدت زمان اتصال کوتاه در شبکه

۸- بررسی کفایت برقگیرها از منظر اضافه ولتاژهای موقت

در حالت بهره‌برداری جزیره‌ای مولد، بایستی اضافه ولتاژهای موقت در حالت‌های زیر محاسبه شده و بررسی شود که آیا برقگیرهای موجود در شبکه قادر به تحمل آنها هستند یا خیر و در صورت عدم تحمل بایستی نسبت به تنظیم رله‌های حفاظتی موجود، تنظیم کنترل‌کننده‌های مولدهای موجود در شبکه، یا به‌کارگیری برقگیر با ولتاژ نامی بالاتر اقدام شود:

- در حالت‌های گذرای شبکه و با توجه به پاسخ کنترل‌کننده‌های مولد
- اتصال کوتاه فاز زمین با توجه به نحوه زمین شدن ترانسفورماتور واسطه و همچنین زمان عملکرد رله‌های حفاظتی موجود

۹- با اتصال مولد به هر سطح ولتاژ، مناسب است که کفایت تحمل اتصال کوتاه در تجهیزات موجود در همان سطح ولتاژ و ترجیحا یک سطح ولتاژ بالاتر از آن بررسی شود.

به طور مثال با اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه فشار متوسط، لازم است که کفایت مشخصات فنی تجهیزات موجود در شبکه ۲۰ کیلوولت از منظر تحمل اتصال کوتاه بررسی گردد. ضمنا مناسب است که مطالعات اتصال کوتاه در مورد تجهیزات موجود در سوئیچگیر ۶۳ کیلوولت نیز صورت پذیرد.

به دلیل بزرگ بودن نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای توزیع، تغییر امپدانس تونن از سمت اولیه این ترانسفورماتورها ناشی از اتصال مولد مقیاس کوچک به شبکه فشار متوسط، تاثیر ناچیزی بر افزایش جریان اتصال کوتاه در شبکه فشار ضعیف دارد. از این رو معمولا نیازی به بررسی جریان اتصال کوتاه در این سطح ولتاژ نیست.

ممکن است در طول فیدر ۲۰ کیلوولت از تجهیزاتی نظیر ریکلوزر یا فیدر با سطح مقطع کم استفاده شده باشد که بایستی کفایت مقدار مجاز جریان اتصال کوتاه در آنها نیز پس از اتصال مولد به شبکه فشار متوسط بررسی گردد.

۴-۳- عملکرد انواع منابع تولید پراکنده در هنگام خطای اتصال کوتاه

۴-۳-۱-ژنراتور سنکرون

در این نوع مولد همانند مولدهای معمول شبکه برق، در هنگام وقوع خطا، جریان اتصال کوتاه دارای مقدار DC می‌باشد. با توجه به مدت زمان گذر از خطا، دامنه این جریان با توجه به تغییر مدل راکتانس ژنراتور از راکتانس زیرگذرا به گذرا و سنکرون با توجه به ثابت زمانی‌های مرتبط با آنها در شکل زیر نشان

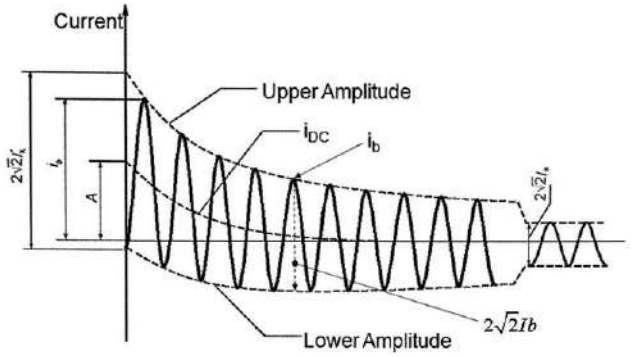
داده شده است. بر طبق استاندارد IEC 60909 تعریف اندیس‌های جریانی و ضرائب مربوطه در شکل (۴-۹) به صورت زیر می‌باشند:

I_{kss}: جریان اتصال کوتاه متقارن (مقدار موثر)

i_p: پیک جریان اتصال کوتاه (مقدار لحظه‌ای)

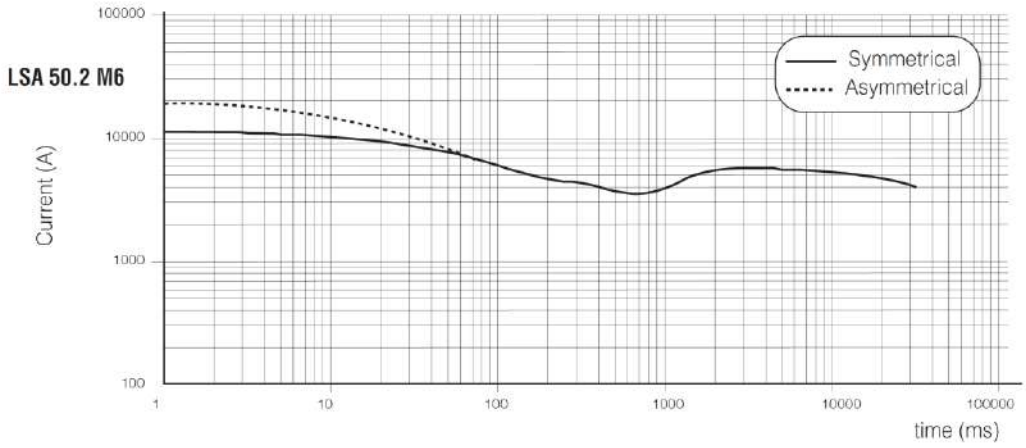
I_b: جریان قطع اتصال کوتاه متقارن (مقدار موثر)

I_{th}: جریان اتصال کوتاه معادل حرارتی (مقدار موثر)



شکل (۴-۹): وقوع خطا در پایین دست مولد پراکنده

برای مثال جریان اتصال کوتاه تولید شده توسط ژنراتور سنکرون با مشخصه خروجی ۴۰۰ ولت، ۵۰ هرتز، ۴ قطب، ۱۲۵۰ کیلوولت آمپر با جریان نامی ۱٫۸ کیلوآمپر، به ازای اتصال کوتاه سه فاز در خروجی ژنراتور، در نمودار شکل (۴-۱۰) زیر قابل مشاهده است.



شکل (۴-۱۰): نمودار جریان اتصال کوتاه تزریقی ژنراتور سنکرون

جریان خروجی مولد برای مدت کوتاهی تا حدود ۲ برابر جریان نامی کاهش یافته و سپس افزایش یافته و در زمان حدود ۲ تا ۱۰ ثانیه پس از وقوع خطا، تقریبا برابر با ۳ پریونیت می‌شود. نمودار داده شده

بر حسب خطای سه فاز متقارن و نامتقارن است. می‌توان با استفاده از جدول زیر مقـادیر جریـان خطـا را برای انواع دیگر خطاها به دست آورد.

جدول (۴-۱): مشخصات و ضرایب نوع خطا ژنراتور سنکرون

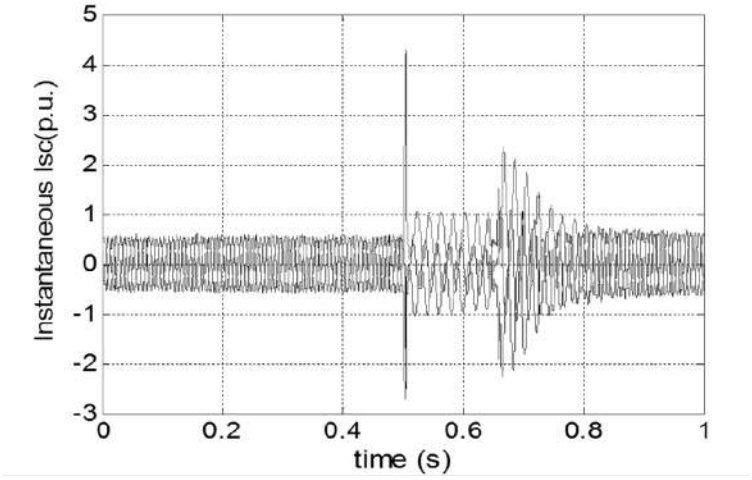
	3 phase	2 phase L - L	1 phase L - N
Instantaneous (Max)	1	0.87	1.3
Sustained	1	1.5	2.2
Max sustained duration (AREP/PMG)	10 sec.	5 sec.	2 sec.

بنابراین در صورتی که سیستم تحریک از نوع PMG یا AREP باشد، حداکثر مقدار موثر جریان خطای سه فاز، ۱,۶برابر جریان نامی (معادل با ۱ پریونیت) و حداکثر مقدار جریان طولانی مدت (تا حداکثر زمان مجاز که برابر ۱۰ ثانیه است) ۳ برابر جریان نامی (معادل با ۱ پریونیت) است.

در اتصال کوتاه نامتقارن که تلفات کمتری در سیم پیچ استاتور ژنراتور اصلی ایجاد می‌نماید، دامنه جریان بیشتری بصورت طولانی مدت ایجاد می‌شود. البته خطای نامتقارن نوسانات مکانیکی شدیدی در توربوژنراتور ایجاد می‌نماید و همچنین با ایجاد جریان منفی بزرگ، باعث گرم شدن هسته روتور نیز می شود، لذا زمان استمرار آن نیز محدود است.

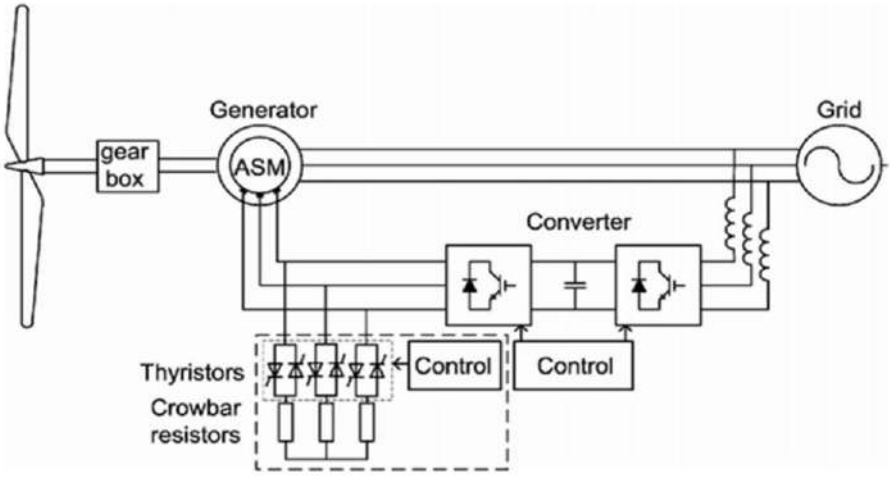
۴-۳-۲- مولد القایی تغذیه دوگانه

در شکل (۴-۱۱) جریان خروجی مولد تغذیه دوگانه استفاده شده در توربین بادی نشان داده شده است. در ابتدای بروز خطا، جریان اتصال کوتاه بسیار زیادی برای مدت محدود تولید می‌شود. و بعد از آن جریان اتصال کوتاه در مقداری نزدیک به جریان قبل از خطا قرار گرفته و بعد از رفع خطا نیز دامنه آن بزرگ شده و با حالت نوسانی به جریان حالت قبل از خطای خود باز میگردد.



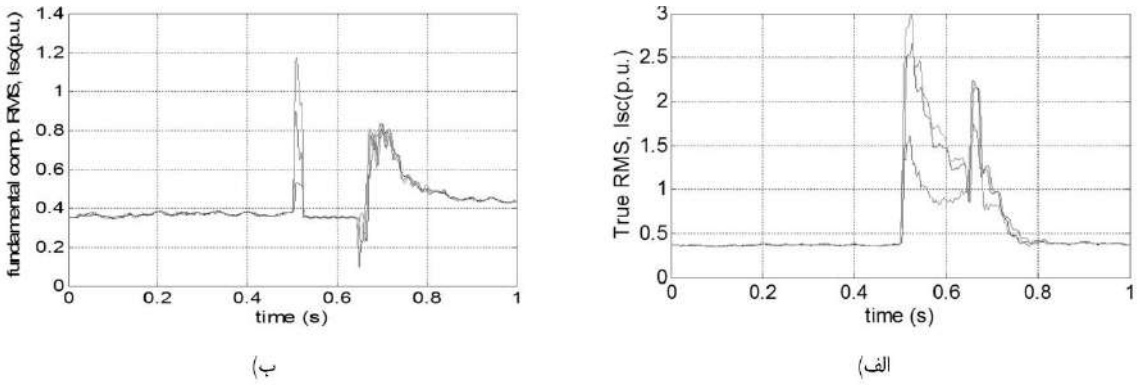
شکل (۴-۱۱): نمودار جریان خطای اتصال کوتاه سه فاز مولد القایی دو سوء تغذیه

در شکل زیر نمای کلی از یک توربین بادی با مولد القایی از تغذیه دوگانه نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۲): نمای کلی یک مولد بادی با ژنراتور القایی از تغذیه دوگانه

یکی از بخش‌های اصلی نشان داده شده در شکل (۴-۱۲) مقاومت کروبار می‌باشد. این مقاومت در هنگام وقوع خطا، جایگزین مبدل و انرژی ذخیره شده در آن را مصرف می‌کند. تا از اندازه و شدت جریان اتصال کوتاه بکاهد. در شکل زیر مقدار هارمونیک اول جریان اتصال کوتاه در دو حالت وجود و عدم وجود کروبار نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۳): مقدار هارمونیک اصلی جریان اتصال کوتاه ۱) بدون کروبار، ۲) با وجود کروبار

همانطور که مشاهده می‌شود وجود کروبار باعث کاهش دامنه جریان خطا و همین دامنه جریان خروجی مولد پس از رفع خطا و نوسان کاهش آن برای رسیدن به مقدار قبل از خطا، می‌گردد.

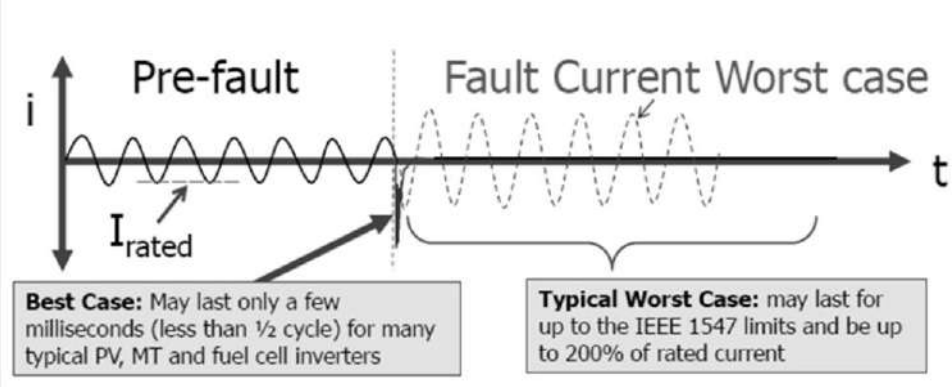
در مورد جریان اتصال کوتاه مولد القایی تغذیه‌دوگانه موارد زیر باید لحاظ شود:

- دامنه جریان محاسبه شده با روش مقدار موثر واقعی، از دامنه به دست آمده بر اساس روش مقدار موثر هارمونیک اول، بزرگتر بوده و در نتیجه تاثیر منفی بیشتری بر عملکرد رله دارد.

- کروبار نه تنها باعث کاهش جریان خروجی مولد در لحظه وقوع خطا در شبکه می‌شود، بلکه جریان تزریقی به شبکه بعد از رفع خطا نیز کمتر خواهد شد.
- جریان خروجی مولد در لحظه وقوع خطا زیاد بوده و به سرعت افت می‌نماید. پس از رفع خطا نیز دامنه آن افزایش یافته و نرخ کاهش آن، نسبتا کم می‌باشد.
- ممکن است مقدار ماکزیمم جریان اتصال مولد القایی تغذیه‌دوگانه درصورت به وقوع خطا در سمت HV ترانسفورماتور واسطه (و نه سمت فشار ضعیف) ایجاد شود.

۴-۳-۳- مولدهای اینورتری

در شکل زیر جریان خروجی یک مولد اینورتری را نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۴): شکل جریان اتصال کوتاه خروجی مولد اینورتری

مولدهای اینورتری رفتار دینامیکی مشابه مولدهای سنکرون یا القایی ندارند. اینورترها، یک جرم چرخان ندارند، پس بنابراین اینرسی برای تامین جریان خطا بر اساس ویژگی‌های الکترومغناطیسی ندارند. مبدل‌های اینورتری سرعت بسیار بیشتری برای کاهش جریان خطا دارند. دلیل این امر نبود ویژگی‌های عمدتا القایی موجود در ماشین‌های چرخان می‌باشد. این ویژگی‌ها مشخص کننده ثابت زمانی مدار هستند. در واقع شکل موج خروجی اینورتر قبل و بعد از خطا یکسان هستند و تنها دامنه آن ممکن است تا ۲ برابر افزایش یابد. همانطور که مشاهده می‌شود در لحظه وقوع خطا جریان خروجی یک مقدار از حالت متقارن خود خارج می‌شود. اما مدت زمان آن بسیار کوتاه می‌باشد (کمتر از نیم سیکل).

۴-۴- محدوده مورد نیاز شبیه‌سازی جهت انجام مطالعات اتصال کوتاه

- در صورت اتصال مولد به فیدر یا باس بار فشار متوسط، بایستی ترانسفورماتورهای فوق توزیع و ترانسفورماتورهای زمین مربوطه مدل شده و شبکه فوق توزیع بصورت امپدانس تونن در نظر گرفته شود.
- در صورت اتصال مولد به فیدر یا باس بار فشار ضعیف، بایستی ترانسفورماتور توزیع مدل شده و شبکه فشار متوسط بصورت امپدانس تونن در نظر گرفته شود.
- از بارهای استاتیکی با اتصال مثلث یا ستاره زمین نشده، صرف نظر می‌شود ولی موتورهای الکتریکی بصورت مجتمع مدل می‌شوند. لازم به ذکر است که موتورهای الکتریکی به دلیل زمین نشدن نوترال، فقط در خطای دو فاز و سه فاز مشارکت دارند.

۴-۵- قیود

- توانایی تحمل حرارتی و مکانیکی تجهیزات در برابر جریان اتصال کوتاه بررسی شود. به عبارت دیگر، کلیه تجهیزاتی که جریان اتصال کوتاه از آنها عبور می‌نماید (هادی، انواع قطع کننده و ترانسفورماتورهای جریان) بایستی قادر به عبور I_{th} (حد جریان حرارتی) در زمان T_K ثانیه باشند که T_K معمولاً برابر با ۱ یا ۳ ثانیه در نظر گرفته می‌شود. همچنین کلیه تجهیزات بایستی توانایی تحمل نیروی الکترودینامیکی ناشی از پیک جریان اتصال کوتاه را داشته باشند.
- تجهیزات قطع کننده، توانایی قطع جریان اتصال کوتاه را داشته باشند.
- قدرت وصل تجهیزات قطع و وصل کننده در شرایط اتصال کوتاه بررسی شود.
- طراحی مناسب تجهیزات شبکه از قبیل ترانسفورماتورهای جریان در شرایط اتصال کوتاه بررسی شود.
- مباحث مرتبط با پایداری و حفاظت در فصول ۵ و ۷ ارائه خواهد شد.

۴-۶- ورودی‌ها

با توجه به توضیحات ارائه شده در فصل ۲ در مورد نحوه ورود اطلاعات به نرم‌افزار، اطلاعات زیر جهت انجام مطالعات اتصال کوتاه مورد نیاز می‌باشد:

- مشخصات فنی تجهیزات، ترانسفورماتورها، خطوط شبکه، منابع تولید پراکنده موجود، سطح اتصال کوتاه فعلی پست و ...

- ساختار شبکه تحت مطالعه در حالت‌های مختلف مانور در شبکه توزیع و اطلاعات کامل شبکه (سطح مقطع و طول بخش‌های مختلف شبکه بالادستی و پایین دستی مولد و ...)
- موتورهای بزرگ موجود در شبکه تحت مطالعه
- تعیین حالتی از ساختارهای ممکن در شبکه توزیع که در آن، حداقل امپدانس بین ژنراتور و شبکه بالادستی وجود دارد.
- تحمل اتصال کوتاه نامی تجهیزات موجود در شبکه مورد مطالعه شامل انواع قطع‌کننده‌ها، ترانسفورماتورهای جریان
- پارامترهای ژنراتور و ترانسفورماتور واسطه (در صورت نیاز)

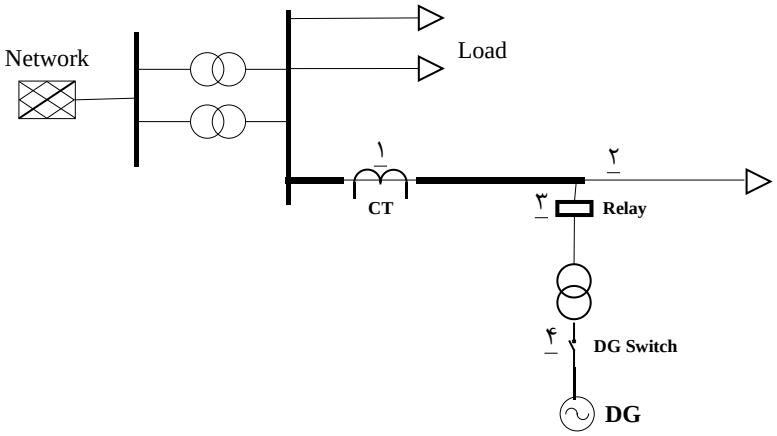
۴-۷- خروجی‌ها

- جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه
- توان اتصال کوتاه متقارن اولیه
- جریان اتصال کوتاه پیک
- جریان قطع اتصال کوتاه
- جریان اتصال کوتاه حرارتی

۴-۸- مکان‌های محاسبه جریان اتصال کوتاه

۱- محل نصب تجهیزات سری با شبکه (ترانسفورماتور جریان و انواع قطع کننده)
۲- بخش‌هایی از فیدر که دارای سطح مقطع کمتری نسبت به ابتدای فیدر است.
۳- محل نصب وسایل حفاظتی
۴- محل نصب ترانسفورماتور جریان و کلید مربوط به مولد (معمولا سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور واسطه)

در شکل (۴-۱۵) یک سیستم نمونه با حضور مولد مشاهده می‌شود که اعداد موجود در شکل نشان دهنده مکان‌های مناسب به ترتیب بیان شده برای محاسبه جریان اتصال کوتاه هستند.



شکل (۴-۱۵): مکان‌های مناسب برای محاسبه جریان اتصال کوتاه

۴-۹- نوع خطای مورد مطالعه در انجام محاسبات جریان اتصال کوتاه

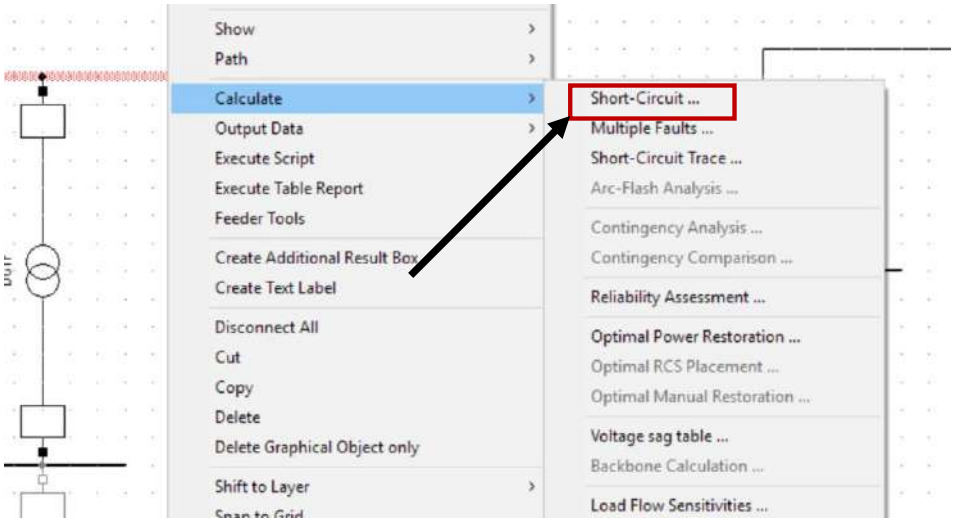
- جریان خطای سه فاز برای بررسی تحمل تجهیزات و هادی ها و همچنین هماهنگی وسایل حفاظتی
- جریان خطای فاز به نول برای بررسی تحمل تجهیزات و هادی های فشار ضعیف
- جریان خطای فاز به زمین برای بررسی هماهنگی وسایل حفاظتی تشخیص خطای زمین
- جریان خطای فاز به فاز برای بررسی هماهنگی وسایل حفاظتی دو طرف ترانسفوماتورهای با گروه برداری Dy و Dyn

۴-۱۰- پیاده‌سازی نرم‌افزاری مطالعات اتصال کوتاه

پس از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز برای مطالعات اتصال کوتاه هر تجهیز بر طبق موارد توضیح داده شده در فصل ۲ و اطلاعات مورد نیاز آنها می‌توان همانند شکل زیر با انتخاب گزینه مربوط به مطالعات اتصال کوتاه وارد جعبه ابزار محاسبات اتصال کوتاه شد.

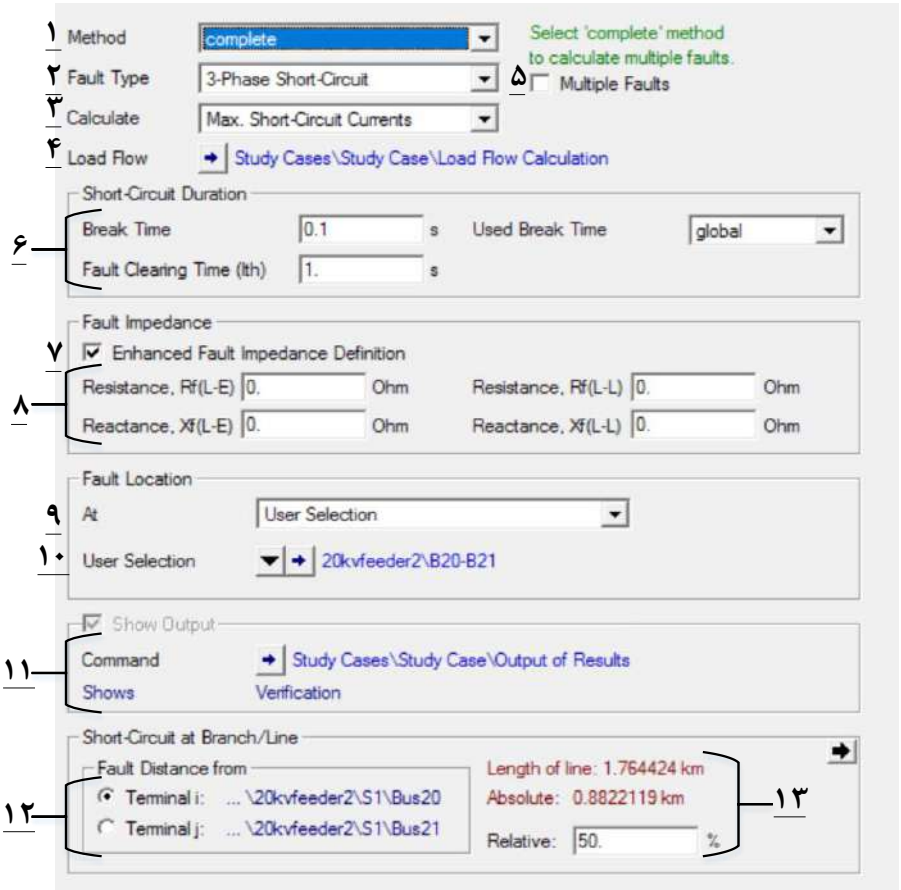
شکل (۴-۱۶): نماد مربوط به محاسبات اتصال کوتاه

همچنین می‌توان با انتخاب تجهیز مورد نظر برای مطالعات اتصال کوتاه، همانند شکل زیر وارد جعبه ابزار مطالعات اتصال کوتاه شد.



شکل (۴-۱۷): انتخاب گزینه محاسبات اتصال کوتاه

در شکل زیر پنجره تنظیمات مطالعات اتصال کوتاه نرم‌افزار نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۴-۱۸): تنظیمات محاسبات اتصال کوتاه

۱- در این قسمت روش محاسبه جریان اتصال کوتاه مشخص می‌شود. در نرم‌افزار دیگسایلنت چهار روش متفاوت برای مطالعه اتصال کوتاه در شبکه قدرت وجود دارد که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

۲- نوع خطا مانند تک فاز، دوفاز، دوفاز به زمین یا سه فاز در این قسمت مشخص می‌شود.

۳- با توجه به پارامترهای وارد شده برای تجهیزات داخل شبکه همانند مدل شبکه خارجی جریان اتصال کوتاه را می‌توان در دو حالت حداقل و حداکثر محاسبه نمود.

۴- در برخی روش‌های محاسبه جریان اتصال کوتاه لازم است برای بدست آوردن حالت اولیه سیستم قبل از خطا پخش بار گرفته شود که در این قسمت می‌توان تنظیمات مربوط به آن را وارد نمود.

۵- در روش محاسبه complete این امکان وجود دارد که در حالتی که همزمان چندین خطا در شبکه وجود داشته باشد مطالعات انجام داد. البته این روش محاسبه خطا به دلیل نادر بودن این شرایط در شبکه توزیع، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

۶- در این قسمت مشخصات زمانی اتصال کوتاه که شامل زمان قطع کلید (که در صورتی که این زمان برای تمام کلیدها به صورت پارامتر عمومی در نظر گرفته شده باشد) است وارد می‌شود. مدت زمان خطا برای محاسبه حد حرارتی جریان اتصال کوتاه تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- با انتخاب این گزینه، مدل پیشرفته‌تری برای مشخصات الکتریکی محل خطا لحاظ می‌شود. در صورت عدم انتخاب این گزینه مشخصات الکتریکی خطا، تنها به صورت یک مقاومت و راکتانس بدون توجه به نوع خطا (فاز به فاز یا فاز به زمین) تعیین می‌شود.

۸- در صورت انتخاب گزینه قسمت قبل، در اینجا می‌توان پارامترهای الکتریکی مقاومت و راکتانس خطا را برای اتصال بین زمین و فاز و همین طور فاز به فاز به صورت جداگانه تعیین نمود. سپس با توجه به نوع خطای انتخابی، از این پارامترها استفاده می‌شود.

۹- در این قسمت تجهیز دچار خطا تعیین می‌شود. می‌توان یک تجهیز خاص را برای محاسبه خطا انتخاب نمود و یا تمامی باس بارها را انتخاب نمود. البته باید توجه داشت منظور از خطا در تمامی باس بارها خطای همزمان نیست و در واقع نشان دهنده جریان خطا برای هر باس بار به تنهایی می‌باشد.

۱۰- در صورت انتخاب گزینه User Selection در اینجا می‌توان تجهیز مورد نظر برای ایجاد خطا را انتخاب نمود.

۱۱- در این قسمت خروجی‌های مطالعه جریان اتصال کوتاه مشخص می‌شود.

۱۲- این قسمت و قسمت بعدی در صورت انتخاب خط یا کابل به عنوان تجهیز دچار خطا ظاهر می-شود. در این قسمت محل مشخص کننده خط یا کابل دچار خطا از دو سر ترمینال یا باس بار آن انتخاب می‌شود. در واقع مرجع محل خطا در این قسمت مشخص می‌شود.

۱۳- در این قسمت، محل خطا با توجه به باس مرجع انتخاب شده در قسمت قبل تعیین می‌شود. این فاصله می‌تواند به صورت درصد نسبی از طول خط یا بر حسب فاصله قطعی (کیلومتر) مشخص گردد.

۴-۱۱- تحلیل نتایج

در صورت پیاده‌سازی صحیح اجزا و همینطور تنظیمات پنجره اتصال کوتاه، می‌توان برنامه اتصال کوتاه را اجرا نمود و در ادامه از خروجی خروجی نرم‌افزار استفاده نمود. ابتدا لازم است که خروجی‌های به دست آمده بررسی شده و در صورت وجود اطلاعات مشکوک و یا غیر منتظره نسبت به بررسی دقیق و علت یابی آن اقدام شود. پس از اطمینان از صحت اطلاعات خروجی، لازم است که شرایط اجزای سیستم با توجه به اهداف ذکر شده بررسی شود. برای مثال لازم است اطمینان حاصل پیدا کرد که حد حرارتی تجهیزات رعایت شده باشد و یا جریان قطع کلیدها از ۸۰ درصد قدرت قطع نامی آنها کمتر باشد. همچنین لازم می‌باشد که به الزامات مرتبط با قدرت وصل کلید نیز توجه شود.

در صورت برآورده شدن اهداف اشاره شده در این بخش اتصال منبع تولید پراکنده بر اساس طرح اتصال پیشنهادی بلامانع می‌باشد. درصورتی که نتایج از حدود مجاز تجاوز کند. لازم اقدامات اصلاحی نظیر تغییر تجهیزات، تغییر ظرفیت مولد پراکنده و یا دیگر امور اصلاحی برای برطرف کردن مشکل ایجاد شده، در نظر گرفته شود.

لازم به ذکر است همانند مطالعات پخش بار هرگونه تغییر در طرح اتصال، تجهیزات شبکه و یا دیگر اقدامات باید با هماهنگی با مالک منبع تولید پراکنده و شرکت برق مربوطه انجام شود.

۴-۱۲- نتیجه‌گیری

مطالعات اتصال کوتاه به دلیل اینکه همیشه پتانسیل ایجاد آسیب دائمی یا موقت به مشترکین و یا تجهیزات شبکه را دارند همواره باید مورد توجه قرار بگیرند. اتصال منابع تولید پراکنده می‌تواند سطح جریان اتصال جریان اتصال کوتاه را در نقاط مختلف شبکه مورد بررسی تغییر بدهند. ممکن است که اتصال مولد به شبکه باعث افزایش قابل توجه سطح اتصال کوتاه شود و ممکن است عملکرد بعضی از تجهیزات شبکه مانند قطع کننده‌های جریان اتصال کوتاه و یا ترانسفورماتورهای جریان را تحت تاثیر قرار

بدهد. بنابراین اطمینان از برآورد شدن نیازمندی‌های اتصال منبع تولید پراکنده بـه شـبکه از نقطـه نظـر اتصال کوتاه باید برآورده شود.

در این بخش به معرفی اهداف مورد نیاز که در مطالعات اتصال کوتاه باید لحاظ شود و مکان‌های مورد بررسی اتصال کوتاه و تنظیمات مربوط به اتصال کوتاه پرداخته شده است.

فصل پنجم

مطالعات دینامیکی و پایداری گذرا

۵-۱- مقدمه

خطاهای گذرا در سیستم‌های قدرت اهمیت فراوانی دارند، زیرا ممکن است با وقوع خطاهای گذرا، به علت خارج شدن از محدوده مجاز ولتاژ و توان و غیره، شبکه دچار مشکل شود. این فرآیند همچنین ممکن است منجر به آسیب رساندن به تجهیزات الکتریکی و مصرف‌کننده‌ها گردد. لذا باید با توجه به تاثیرات این‌گونه خطاها بر شبکه، رله‌ها و کلیدهای موجود در فیدرها و پست‌ها و غیره به نحو مناسبی تنظیم شوند. همچنین ممکن است نیاز به تجهیزات حفاظتی و کلیدهای بیشتری در سیستم باشد. در این گزارش به بیان روش انجام مطالعات حالت گذرا در سیستم قدرت در نرم‌افزار DIgSILENT در حضور منابع تولید پراکنده پرداخته می‌شود.

۵-۲- اهداف

اهداف مطالعات مربوط به پایداری گذرا عبارتند از:

- میزان توانایی تحمل اغتشاشات توسط DG
- میزان تاثیرگذاری DG بر پایداری دینامیکی و گذرای شبکه
- عملکرد DG در حالت جزیره‌ای شدن
- کفایت سیستم‌های حفاظتی
- پدیده کیفیت توان

عوامل مختلفی می‌توانند منجر به ناپایداری گذرا در شبکه گردند که از جمله آن‌ها، می‌توان وقوع خطای دوفاز یا سه فاز در نزدیکی ژنراتور، خروج یکی از خطوط واسط از شبکه، خروج ترانسفورماتور بالادست در شبکه و غیره را نام برد. بررسی پایداری گذرا در شبکه‌های فشار متوسط به دلایل زیر در مقایسه با شبکه فشار قوی اهمیت بیشتری دارد:

الف) تعداد اتصال کوتاه زیاد در شبکه‌های فشار متوسط به دلیل گستردگی شبکه و فاصله فاز به فاز نسبتا کم در خطوط هوایی

ب) بالا بودن زمان تشخیص و رفع خطا در شبکه‌های فشار متوسط

ج) ثابت اینرسی نسبتا کم مولدهای سنکرون تولید پراکنده

بنابراین اولا احتمال وقوع ناپایداری گذرا در مولدهای سنکرون تولید پراکنده بیشتر از ژنراتورهای بزرگ متصل به شبکه فشار قوی است و ثانیا وقوع ناپایداری گذرا باعث آسیب شدید به ژنراتور و به ویژه

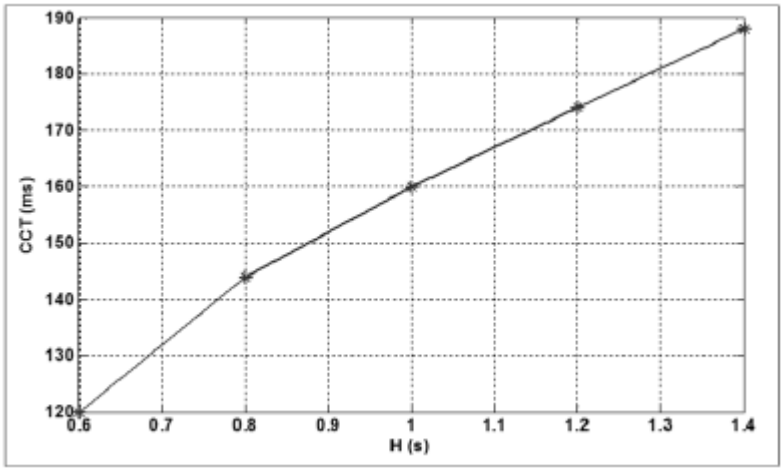
به محرک اولیه شده و موجب افت کیفیت توان در شبکه می‌شود. ناپایداری گذرا در ژنراتورهای سنکرون ممکن است موجب بروز اتفاقات زیر شود:

- عبور جریان با دامنه بالا از سیم پیچ استاتور که در صورت طولانی شدن زمان کارکرد ژنراتور در حالت ناپایدار، حتی ممکن است از نظر حرارتی بیشتر از قابلیت تحمل حرارتی جریان اتصال کوتاه نامی در ژنراتور باشد.
- القای ولتاژ با دامنه بالا در سیم پیچ روتور و عبور جریان بالا از آن که حتی ممکن است مشکلات عایقی برای سیستم تحریک (نظیر بخش های مختلف سیستم تحریک استاتیک) ایجاد نماید.
- یکی از خطرات جدی ناپایداری گذرا، اعمال گشتاور مکانیکی با دامنه چندین برابر مقدار نامی به مجموعه توربوژنراتور است که باعث آسیب شفت مجموعه توربوژنراتور و حتی جابجایی توربوژنراتور از روی فونداسیون مربوطه می‌شود.
- تغییرات شدید دامنه جریان تبادلی با شبکه، در مولدهای بزرگ باعث ایجاد حالتی نظیر فلیکر ولتاژ در سیستم شده و ممکن است به بارهای موجود در شبکه آسیب برساند.

عوامل به وجود آورنده ناپایداری‌های گذرا طبق استاندارد IEEE1547 شامل از دست رفتن سنکرونیزم، تغییرات گذرای زیاد ولتاژ، تغییرات گذرای زیاد فرکانس و نیز نوسان‌های زیرمیرای ژنراتورها می‌باشند.

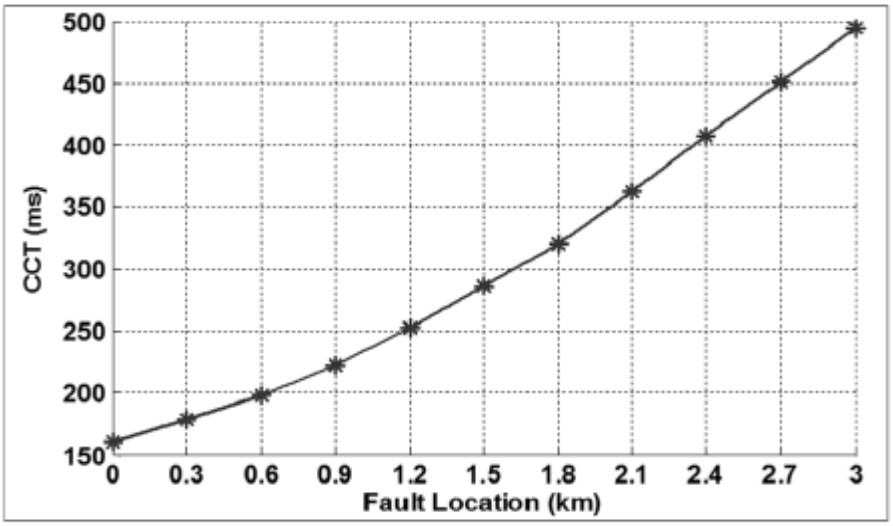
۵-۳- عوامل تاثیرگذار بر ناپایداری گذرا

عوامل مختلفی می‌توانند بر ناپایداری گذرای شبکه تاثیر گذار باشند که از آن جمله می‌توان نوع اتصال کوتاه و محل وقوع آن در شبکه، میزان توان خروجی مولد پیش از وقوع خطای اتصال کوتاه در شبکه و نیز نوع سیستم کنترل تحریک ژنراتور سنکرون (کنترل ولتاژ، کنترل ضریب توان، کنترل توان راکتیو و کنترل دستی) را نام برد. مهم‌ترین پارامتر در بررسی حالت گذرا، زمان بحرانی رفع خطا (CCT) است که با میزان آسیب رسیدن به تجهیزات الکتریکی ارتباط مستقیمی دارد. به عبارت دیگر زمان رفع خطای بحرانی بیانگر میزان تنظیمات زمانی رله‌های حفاظتی است. این زمان رفع خطا، بستگی به پارامترهای مختلفی از قبیل اینرسی (لختی) ژنراتورها، نوع خطا، فاصله محل وقوع خطا از ژنراتور، نقطه کار اولیه ژنراتور و نیز سیستم کنترل تحریک ژنراتور دارد. شکل‌های (۵-۱) تا (۵-۵) نحوه ارتباط زمان رفع خطای بحرانی با هرکدام از این پارامترها را نمایش می‌دهند:



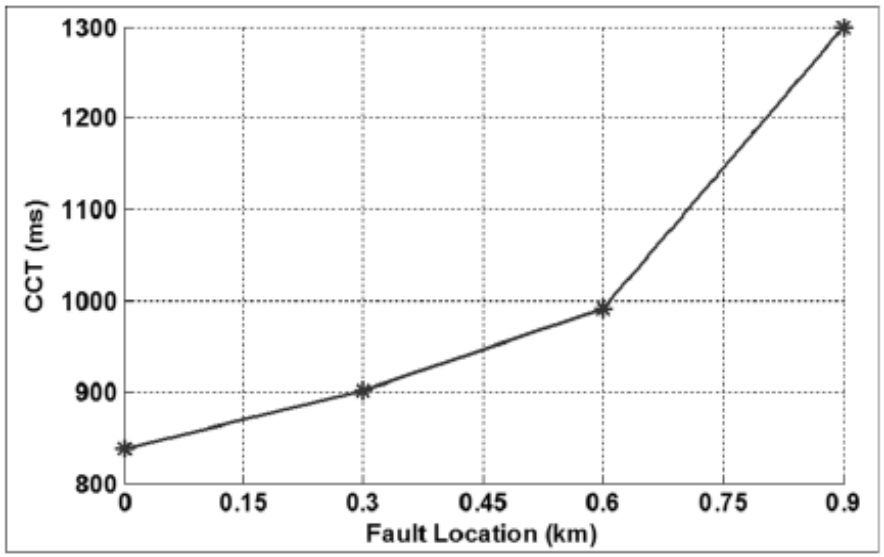
شکل (۵-۱): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به اینرسی ژنراتور

با توجه به شکل (۵-۱) مشاهده می‌شود که هرچقدر اینرسی (لختی) یک ژنراتور بیشتر باشد، زمان بحرانی رفع خطا افزایش می‌یابد. لذا در ژنراتورهای با اینرسی بالا، تنظیمات زمانی رله‌های حفاظتی می‌توانند افزایش یابند و این ژنراتورها در مقابل خطا پایداری بهتری دارند.



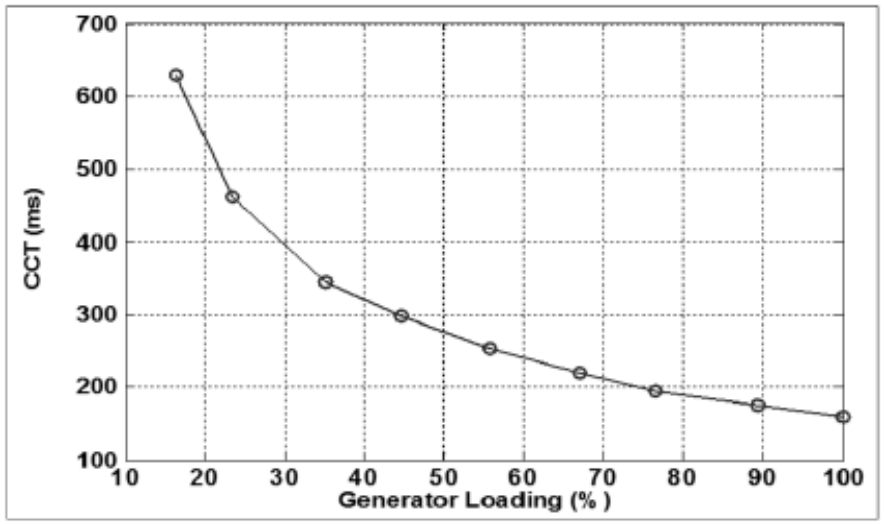
شکل (۵-۲): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به محل خطای سه فاز به ازای H=1

شکل (۵-۲) بیان می‌دارد که میزان زمان بحرانی رفع خطا با محل خطا (فاصله از رله حفاظتی مورد نظر) رابطه مستقیم دارد، به گونه‌ای که خطاهای دوردست زمان رفع خطای کمتری نسبت به خطای نزدیک نیاز دارند.



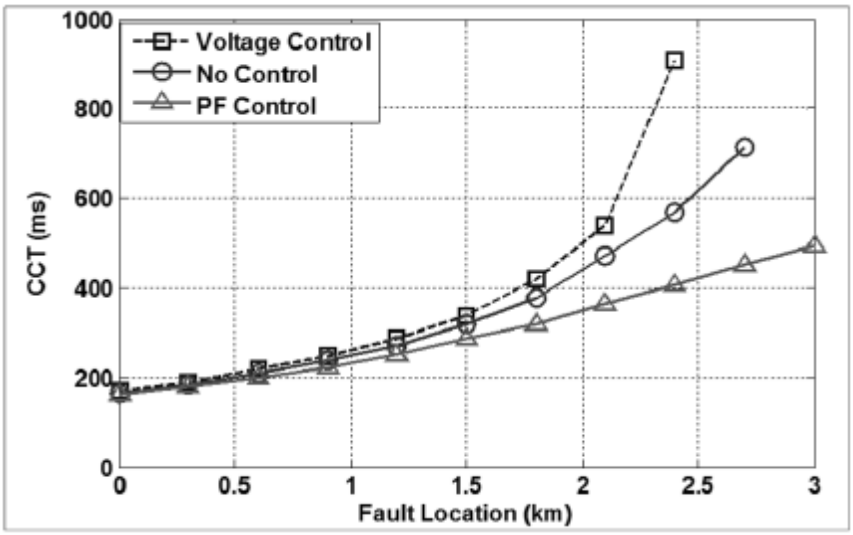
شکل (۵-۳): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به محل خطای فاز به فاز

شکل (۵-۳) بیانگر تغییرات زمان بحرانی رفع خطا نسبت محل وقوع خطای فاز به فاز است. مقایسه این دو شکل نشان می‌دهد که در شرایط یکسان (اینرسی و محل خطای مشابه) زمان بحرانی رفع خطای سه فاز کمتر از خطای فاز به فاز است که نشانگر این است که نوع خطا نیز بر میزان CCT تاثیرگذار است.



شکل (۵-۴): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به نقطه کار اولیه ژنراتور به ازای خطای سه فاز

شکل (۵-۴) میزان تغییرات زمان بحرانی رفع خطا نسبت به نقطه کار ژنراتور را نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود که کاهش بارگذاری اولیه ژنراتور، موجب افزایش در میزان CCT می‌گردد.



شکل (۵-۵): وابستگی زمان بحرانی رفع خطا به سیستم کنترل تحریک ژنراتور

شکل (۵-۵) میزان تغییرات CCT نسبت به سیستم کنترلی مولد را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که درحالتی که سیستم کنترلی از نوع ولتاژی باشد، میزان CCT نسبت به حالات دیگر بیشتر خواهد بود.

۵-۴- قابلیت گذر از اغتشاشات ولتاژ و فرکانس

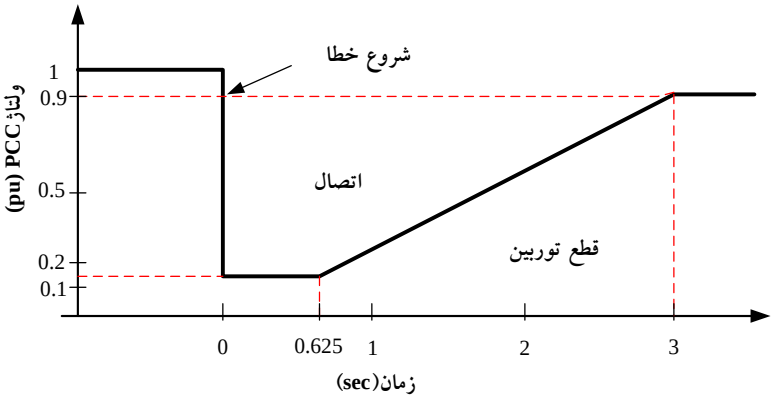
در هنگام وقوع خطا در شبکه تا زمانیکه تجهیزات حفاظتی محل خطا را تشخیص داده و از بقیه شبکه جدا کنند، ولتاژ منبع افت می‌کند. در این بازه زمانی، ژنراتورهای نیروگاه‌های تولید پراکنده (بادی، خورشیدی و ...)، بسته به نوع و محل خطا، افت ولتاژ را در پایانه‌های خود تجربه می‌کنند. همچنین به دلیل قطع بارهای بزرگ، برقدار کردن بانک‌های خازنی و یا وقوع خطاهای نامتقارن ممکن است اضافه ولتاژهایی در شبکه رخ دهد. در گذشته، منابع تولید پراکنده هنگام بروز خطا یا اضافه ولتاژ، از شبکه جدا می‌شدند. ولی در طول دهه‌های اخیر که در بسیاری از کشورهای پیشرفته، ظرفیت و تعداد نیروگاه‌های تولید پراکنده افزایش چشمگیری داشته است و ضریب نفوذ[1] منابع تولید پراکنده افزایش چشمگیری داشته است، جدا شدن آنها از شبکه باعث از بین رفتن بخش زیادی از توان تولیدی می‌شود که می‌تواند منجر به بروز مشکلات متعدد و حتی خاموشی سراسری شبکه گردد. برای پرهیز از اثرات نامطلوب قطع منابع تولید پراکنده در کشورهای دارای ضریب نفوذ بالا، می‌بایست این منابع دارای قابلیت گذر از افت ولتاژ (LVRT)[2] و قابلیت گذر از اضافه ولتاژ (HVRT)[1] باشند. به این معنی که منابع تولید پراکنده،

[1] Penetration level

[2] Low Voltage Ride Through

هنگام بروز خطا و افت ولتاژ و همچنین هنگام بروز اضافه ولتاژ، باید در محدوده مشخصی متصل به شبکه باقی بمانند.

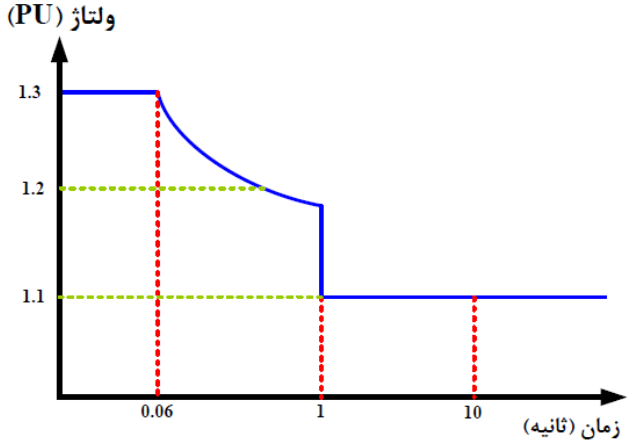
نیازمندی LVRT و HVRT با پروفیل ولتاژ-زمان ارزیابی می‌گردد. این پروفیل، محدوده‌ای را که منبع تولید پراکنده باید قادر باشد در شرایط وقوع خطا یا اضافه ولتاژ، به شبکه متصل بماند و به عملکرد پایدار خود ادامه دهد، تعیین می‌نماید. الزامات و مقررات و منحنی‌های مربوط به LVRT و HVRT در کشورهای مختلف مشخص شده است. به عنوان نمونه مطابق استاندارد کشور آمریکا که در شکل (۵-۶) نشان داده شده است، توربین بادی باید قابلیت LVRT را تا ۱۵ درصد ولتاژ نامی خط برای زمان ۰/۶۲۵ ثانیه داشته باشد. هر چه شدت افت ولتاژ کمتر شود، زمانی که ژنراتور باید متصل به شبکه باقی بماند، افزایش می‌یابد. همچنین ولتاژ منبع باید در مدت ۳ ثانیه به ۰/۹ پریونیت برسد و قابلیت عملکرد پیوسته در ۹۰ درصد ولتاژ نامی خط را داشته باشد.



شکل (۵-۶): الزامات LVRT در کشور آمریکا

به عنوان مثالی دیگر، مطابق شکل (۵-۷) استاندارد کشور استرالیا در خصوص قابلیت HVRT به این صورت است که در صورت بروز اضافه ولتاژ به اندازه ۱/۳ پریونیت، توربین بادی باید این اضافه ولتاژ را به مدت ۰/۰۶ ثانیه تحمل نماید.

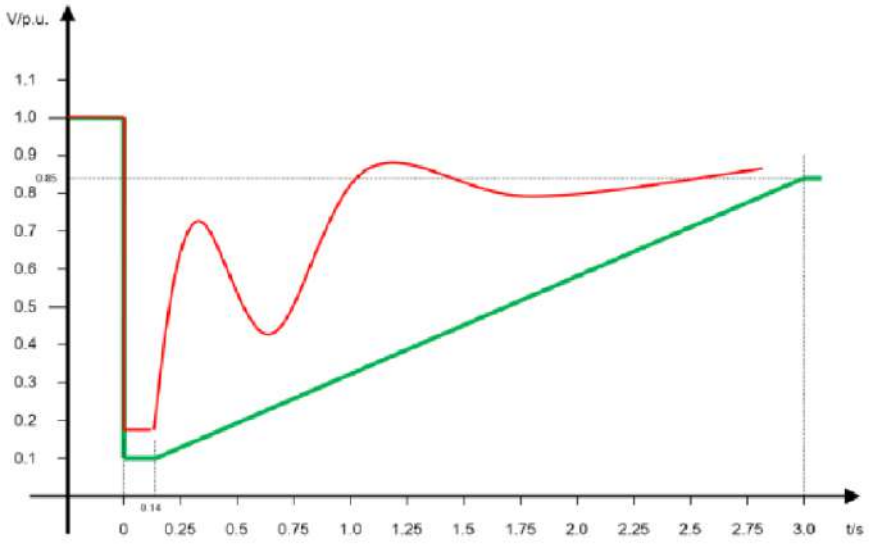
[1] High Voltage Ride Through



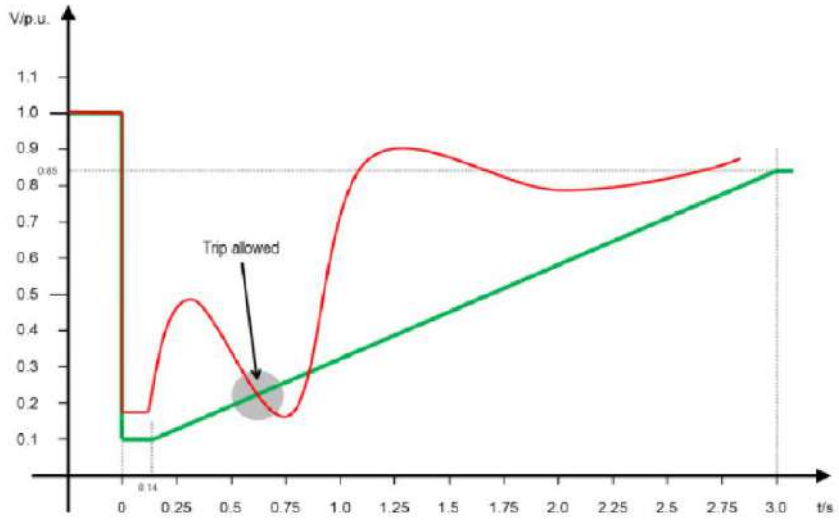
شکل (۵-۷): الزامات HVRT در کشور استرالیا

منحنی LVRT حد پایین عملکرد قابل قبول DG (متصل باقی ماندن به شبکه) و منحنی HVRT حد بالای عملکرد قابل قبول DG را مشخص می‌کند. تنظیمات حفاظتی از جمله حفاظت افت ولتاژ و اضافه ولتاژ باید به گونه‌ای باشد که با عملکرد LVRT و HVRT تداخل نداشته باشد. توضیحات بیشتر در بخش ۹-۱۲-۲ دستورالعمل اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه ارائه شده است.

جهت مطالعه و بررسی قابلیت LVRT و HVRT منابع تولید پراکنده، لازم است مدل دینامیکی و سیستم کنترل آنها به طور دقیق پیاده‌سازی شود و شبیه‌سازی در شرایط مختلف به ازای انواع خطاها و رخدادها انجام شود. پس از انجام شبیه‌سازی‌ها، تغییرات ولتاژ DG با محدوده منحنی‌های LVRT و HVRT مقایسه می‌شود. به طور مثال در شکل (۵-۸)، تغییرات ولتاژ پس از وقوع خطا بالاتر از منحنی LVRT بوده و در نتیجه DG متصل به شبکه باقی می‌ماند. ولی در شکل (۵-۹)، ولتاژ از محدوده مورد نظر LVRT خارج شده و لذا DG از شبکه جدا می‌شود.



شکل (۵-۸): حالتی که DG دارای قابلیت LVRT مورد نظر می‌باشد



شکل (۵-۹): حالتی که DG دارای قابلیت LVRT مورد نظر نمی‌باشد

مشابه مطالب ارائه شده برای قابلیت گذر از اغتشاشات ولتاژ، منابع تولید پراکنده باید دارای قابلیت گذر از افت فرکانس (LFRT)[1] و قابلیت گذر از اضافه فرکانس (HFRT)[2] باشند. توضیحات بیشتر در بخش ۹-۱۳-۲ دستورالعمل اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه ارائه شده است.

تبصره: الزامات گذر از اغتشاشات ولتاژ در بخش ۹-۱۲-۲ و الزامات گذر از اغتشاشات فرکانس در بخش ۹-۱۳-۲ دستورالعمل اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه تعیین شده است. لازم به ذکر است الزامات ذکر شده در بخش‌های مذکور برای منابع تولید پراکنده‌ای که به سطح ولتاژ فشار ضعیف متصل می‌شوند، یعنی طرح‌های اتصال ۱ و ۲، الزام‌آور نمی‌باشد.

۵-۵- قیود

- زمان بحرانی رفع خطا متناسب با زمان عملکرد رله‌های حفاظتی باشد.

[1] Low Frequency Ride Through

[2] High Frequency Ride Through

- در خصوص منابع غیراینورتری، سرعت و زاویه رتور ژنراتورها در محدوده مجاز باقی بماند و سنکرونیزم ژنراتورها حفظ شود.
- در خصوص منابع اینورتری، در اثر اغتشاشات شبکه ولتاژ در محدوده مجاز قرار گیرد.

۵-۶- ورودی‌ها

- اطلاعات کامل تجهیزات شبکه (ثابت اینرسی، سیستم تحریک و راکتانس گذرای ژنراتورها، مدل‌سازی شبکه بینهایت و ...)
- تعیین نوع و محل رخداد (Event) مورد نظر (اتصال کوتاه، کلیدزنی و ...)
- ساختار شبکه تحت مطالعه در حالت‌های مختلف مانور در شبکه

۵-۷- خروجی‌ها

- زمان بحرانی رفع خطا (برای منابع غیراینورتری)
- سرعت و زاویه رتور ژنراتورها (برای منابع غیراینورتری)
- ولتاژ ترمینال واحد تولید پراکنده (برای منابع اینورتری)
- زمان عملکرد رله‌های حفاظتی

۵-۸- مطالعات حالت گذرا و بررسی پایداری توسط نرم‌افزار دیگسایلنت

تابع شبیه‌سازی حالت گذرا در نرم‌افزار دیگسایلنت قادر است تا رفتار دینامیکی سیستم‌های بزرگ و کوچک را در حوزه زمان بررسی و تحلیل کند. در این حالت کاربر قادر است تا سیستم‌های پیچیده صنعتی را با در نظر گرفتن پارامترهای الکتریکی و مکانیکی مدل سازی نماید. مسائل مربوط به پایداری و کنترل سیستم از موارد مهم در برنامه ریزی، طراحی و بهره‌برداری از سیستم به حساب می‌آیند. مطالعات مربوط به حالت گذرا و بررسی پایداری شبکه ممکن است با استفاده از شبیه‌سازی‌های حوزه زمان در بازه‌های زمانی مختلف و یا بررسی پایداری سیگنال کوچک انجام گیرد. به منظور مدلسازی دقیق ماشین-ها با در نظر گرفتن پارامترهای الکتریکی و مکانیکی نیروگاه‌ها، این نرم‌افزار، کتابخانه‌ای متشکل از مدل‌های مختلفی از ژنراتورها، موتورها، بارهای مکانیکی و غیره را در اختیار کاربر قرار داده است.

۵-۸-۱-مطالعات گذرا

در مطالعات پایداری سیستم‌های قدرت به بررسی رفتار سیستم‌های قدرت، قبل و بعد از وقوع رخداد پرداخته می‌شود. حالت گذرا در سیستمهای قدرت به سه دسته تقسیم می‌شود:

الف) کوتاه مدت: حالت گذرای الکترومغناطیسی، صفر تا ۱۰ ثانیه

ب) میان مدت: حالت گذرای الکترومکانیکی، ۱۰ثانیه تا چند دقیقه

ج) بلند مدت: چندین دقیقه تا چند روز

پایداری بلند مدت و میان مدت برای بررسی عملکرد دینامیک سیستم قدرت در حالت‌هایی که اغتشاش شدیدی در سیستم ایجاد شده است تعریف می‌شوند. اغتشاشات شدید در سیستم منجر به تغییرات ولتاژ و فرکانس و در نتیجه توانهای انتقالی شده و باعث خواهند شد تا کنترل کننده‌ها و سیستمهای حفاظتی عکس العمل نشان دهند. مشخصه‌های زمانی این فرآیندها از چند ثانیه تا چند دقیقه متغیر می‌باشد. در پایداری بلند مدت فرض می‌شود که نوسانات توان سنکرون کننده بین ماشین-های سنکرون میرا شده است و در نتیجه فرکانس یکنواختی در کل سیستم برقرار است.

عکس العمل میان مدت در حقیقت نشان دهنده حالت انتقال بین دوره کوتاه مدت و بلند مدت می-باشد. در این مطالعات تاکید بر نوسان‌های توان سنکرون کننده بین ماشین‌های سنکرون و تغییرات شدید ولتاژ و فرکانس می‌باشد.

در نرم‌افزار دیگسایلنت سه تابع مختلف برای شبیه‌سازی در اختیار کاربر قرار گرفته است:

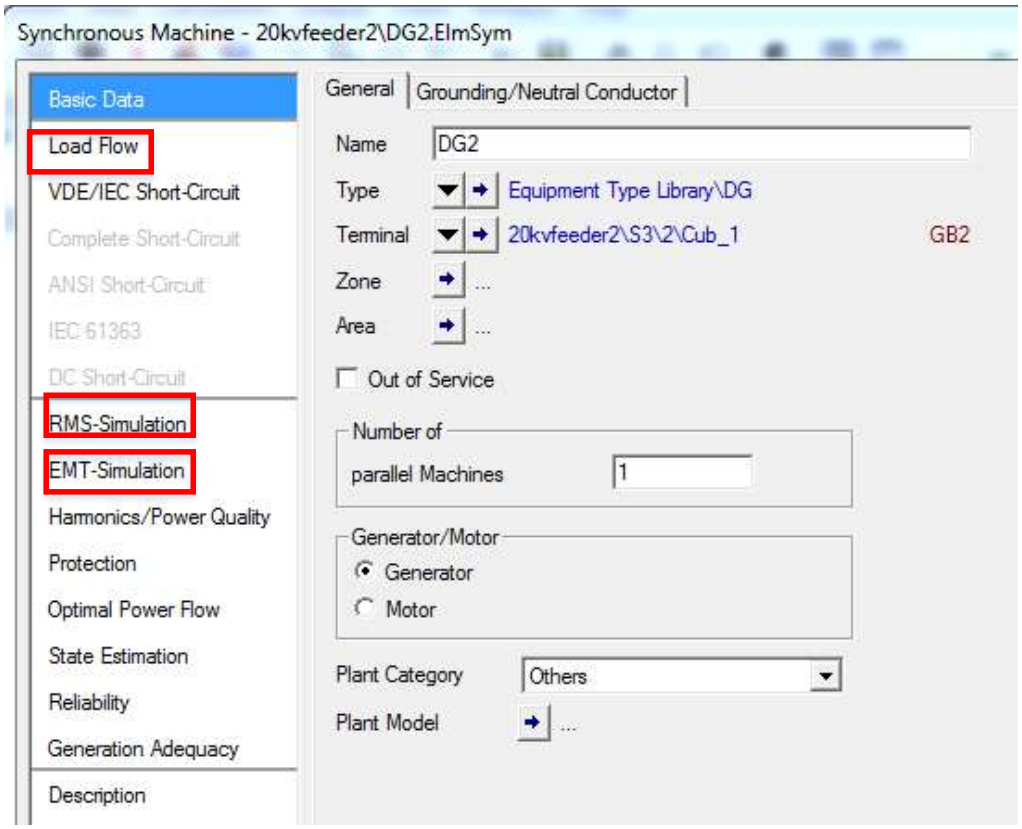
الف) تابع پایه: در این تابع، از یک حالت ماندگار متقارن (Symmetrical steady state- RMS) به منظور مدلسازی حالت گذرای میان مدت و بلندمدت برای شبکه متعادل استفاده می‌شود.

ب) تابع سه فاز: در این تابع از یک حالت ماندگار (Steady state- RMS) به منظور مدلسازی حالت گذرای میان مدت و بلند مدت برای شبکه‌های متعادل یا نامتعادل استفاده می‌شود.

ج) تابع شبیه سازی حالت گذرای الکترومغناطیسی (EMT): با استفاده از مدل دینامیکی شبکه، برای حالت گذرای الکترومغناطیسی و الکترومکانیکی برای شبکه‌های متعادل یا نامتعادل استفاده می‌شود. این تابع در مطالعات حالت گذرای کوتاه مدت استفاده می‌شود.

۵-۸-۲- روش‌های محاسباتی

نرم‌افزار DIgSILENT توانایی انجام مطالعات پخش بار، مطالعات RMS و EMT را دارد. در این حالت نرم افزار می‌تواند شبیه‌سازی حالت گذرای الکترومغناطیسی (EMT) برای مقادیر لحظه‌ای را با مدل‌های شبیه‌سازی الکترومکانیکی مقادیر RMS ترکیب نماید.



شکل (۵-۱۰): مطالعات EMT و RMS

۵-۸-۲-۱- شبیه‌سازی در حالت RMS متعادل

در این حالت دینامیک در تجهیزات حرارتی، کنترلی و الکترومکانیکی در نظر گرفته خواهد شد. بدین منظور، نرم‌افزار از حالت ماندگار متقارن شبکه الکتریکی پسیو استفاده می‌نماید. با استفاده از این نوع نمایش، فقط مولفه‌های پایه برای ولتاژ و جریان در محاسبات در نظر گرفته خواهند شد. رخدادهای مختلفی از جمله ورود و خروج ژنراتورها یا موتورها، تغییر مرحله‌ای بارها، بارزدایی، سوییچ زنی خط و ترانسفورماتور، اتصال کوتاه متقارن، اضافه نمودن عناصر شبکه، خروج نیروگاه، تغییر نقطه کار و غیره می‌توانند در شبیه‌سازی در نظر گرفته شوند.

۵-۸-۲-۲- شبیه‌سازی در حالت RMS سه فاز نامتعادل

در صورتیکه هدف آنالیز شبکه‌های نامتعادل و یا خطاهای نامتقارن باشد، بایستی از تابع شبیه‌سازی در حالت RMS سه فاز نامتعادل استفاده شود. در این حالت از مدل‌سازی در حالت ماندگار شبکه الکتریکی پسیو استفاده می‌شود و می‌تواند به آنالیز شرایط مختلف در شبکه‌های نامتعادل بپردازد. در این وضعیت دینامیک در تجهیزات حرارتی، کنترلی و الکترومکانیکی،مشابه قبل مدل خواهند شد. همچنین

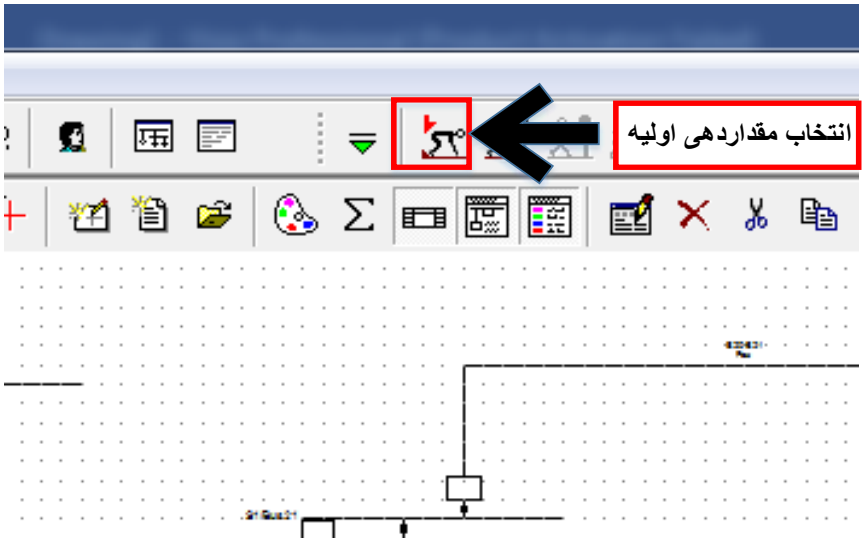
تجهیزات الکترومکانیکی نامتقارن، شبکه‌های تکفاز و دوفاز و خطاهای نامتعادل نیز می‌توانند در این حالت مدل شوند تمامی این خطاها می‌توانند همزمان وجود داشته و مورد مطالعه قرار بگیرند.

۵-۸-۲-۳- شبیه‌سازی در حالت EMT

در این حالت ولتاژها و جریان‌ها بر اساس مقادیر لحظه‌ای خود در معادلات وارد می‌شوند. بنابراین رفتار دینامیکی عناصر پسیو شبکه نیز در مطالعات در نظر گرفته خواهند شد. در این حالت تمامی رخدادهای متقارن و نامتقارن می‌تواند شبیه‌سازی شود. همچنین تابع EMT می‌تواند برای مطالعات شبیه‌سازی گذرای بلند مدت مورد استفاده قرار گیرد. با این حال به دلیل وجود تجهیزات پسیو در شبکه که به صورت دینامیکی نشان داده شده اند، مقادیر ولتاژ و جریان بر حسب مقادیر لحظه‌ای خود نشان داده می‌شوند.

محاسبه مقادیر اولیه

به منظور شبیه‌سازی دینامیکی لازم است شرایط اولیه به منظور حل معادلات دیفرانسیلی محاسبه شوند. بر مبنای نتایج محاسبات پخش بار، تمامی متغیرهای داخلی و وضعیت عملکرد ماشین‌ها و حالت-های گذرا مدل می‌شوند. به منظور مقداردهی اولیه، پس از انتخاب حالت شبیه‌سازی دینامیکی، روی آیکون مقدار دهی اولیه در نرم‌افزار دیگسایلنت کلیک می‌کنیم.

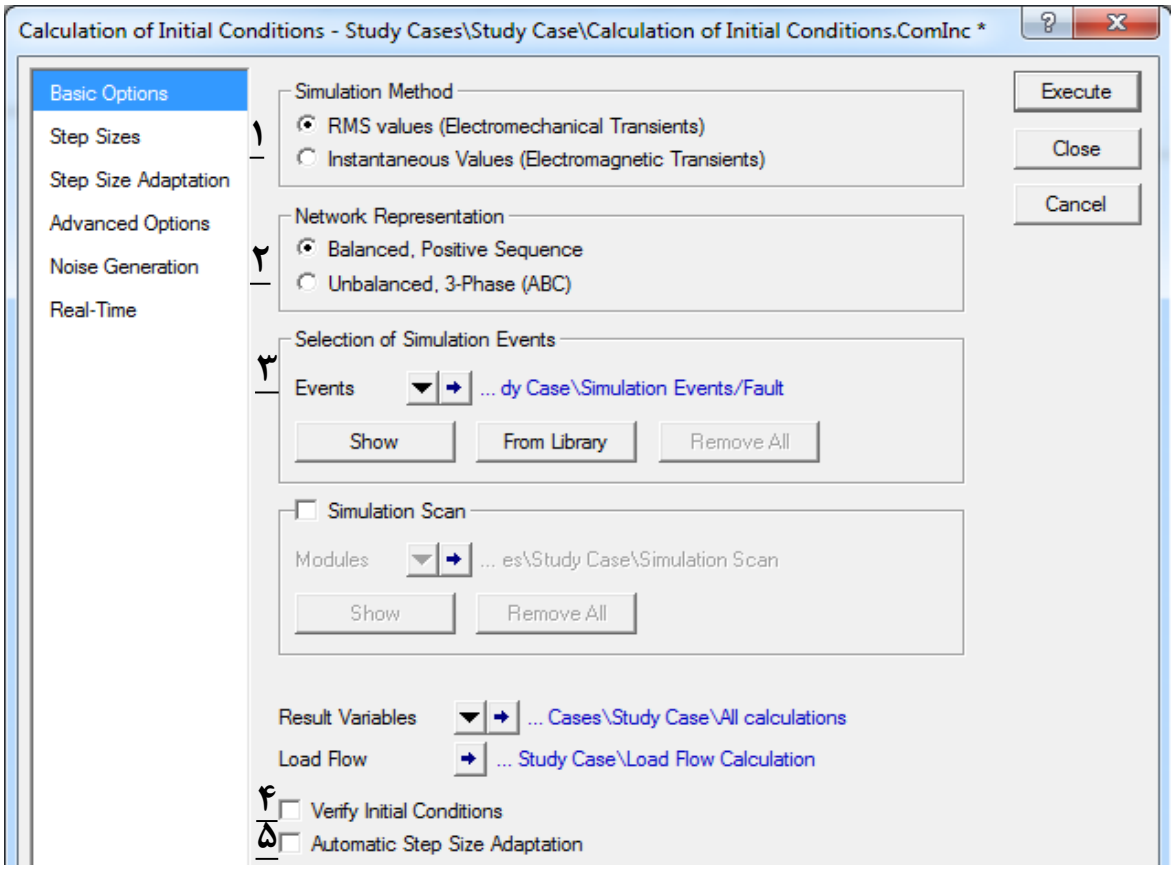


شکل (۵-۱۱): مقداردهی اولیه

در این حالت پنجره مقداردهی اولیه را خواهیم داشت که شامل تب‌های مختلف زیر است:

الف) گزینه‌های پایه (Basic Options)

با استفاده از گزینه‌های پایه، کاربر می‌تواند به ویرایش موارد زیر بپردازد:



شکل (۵-۱۲): گزینه‌های پایه

۱) Simulation method: در این قسمت کاربر می‌تواند نوع شبیه‌سازی مورد نظر (RMS, EMT) را انتخاب نماید.

۲) Network Representation: ساختار شبکه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد که به صورت متقارن یا نامتقارن قابل تعریف است.

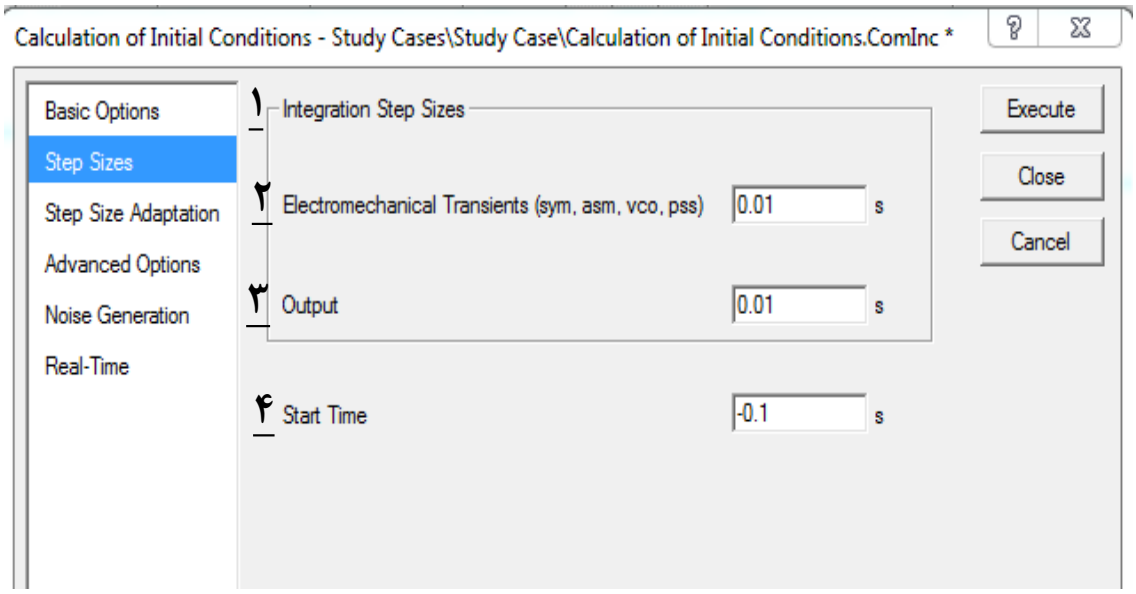
۳) Selection of Simulation Event: در این قسمت کاربر می‌تواند رخداد مورد نظر را انتخاب کند. همچنین در صورتی که رخدادی قبلا تعریف شده باشد، با استفاده از گزینه Show می‌توان آن‌را مشاهده نمود. گزینه From Library به کاربر امکان می‌دهد تا رخداد مورد نظر را از کتابخانه پروژه وارد نماید. در قسمت متغیرهای نتایج (Result Variables) و پخش بار (Load Flow) کاربر می‌تواند متغیرهای خروجی و پنجره مطالعات پخش بار را ویرایش نماید.

۴) Verify Initial Condition: در صورت انتخاب این گزینه، dx/dt=0 برای همه متغیرهای حالت چک خواهد شد. در صورتی که یک یا چند مشتق متغیر حالت برابر صفر نباشد، سیستم قدرت مجددا شبیه‌سازی را از ابتدا انجام خواهد داد. در این حالت کاربر بایستی کنترلرهای مربوطه، مدل‌ها و مقدار دهی اولیه آنها را مجددا بررسی نماید.

۵) Automatic Step Size Adaption: این گزینه، الگوریتم تطبیق بازه‌های زمانی شبیه‌سازی را فعال می‌کند و می‌تواند باعث افزایش سرعت شبیه‌سازی شود. به عنوان مثال در زمان‌هایی که هیچگونه رخدادی (Event) وجود ندارد، بازه زمانی شبیه‌سازی، بزرگتر در نظر گرفته می‌شود و به محض اینکه رخدادی (Event) اتفاق افتاد، بازه زمانی شبیه‌سازی کوچکتر خواهد شد.

ب) اندازه گام (Step Size)

در این پنجره حداقل و حداکثر گام‌های زمانی به منظور استفاده الگوریتم‌های محاسباتی تعیین می‌شود.



شکل (۵-۱۳): گام‌های زمانی

۶) Integration Step Size: در صورتیکه گزینه Automatic Step Size Adaption (در تب Basic Option) تیک زده شود و به تب Step Size برویم، به این گزینه می‌رسیم. در اکثر اوقات نیازی به گرفتن خروجیPlot در هر بازه زمانی محاسبات نمی‌باشد. در این‌صورت زمان شبیه‌سازی نیز کاهش خواهد یافت. با انتخاب اندازه گام بزرگتر در قسمت Output، سرعت محاسبات افزایش خواهد یافت.

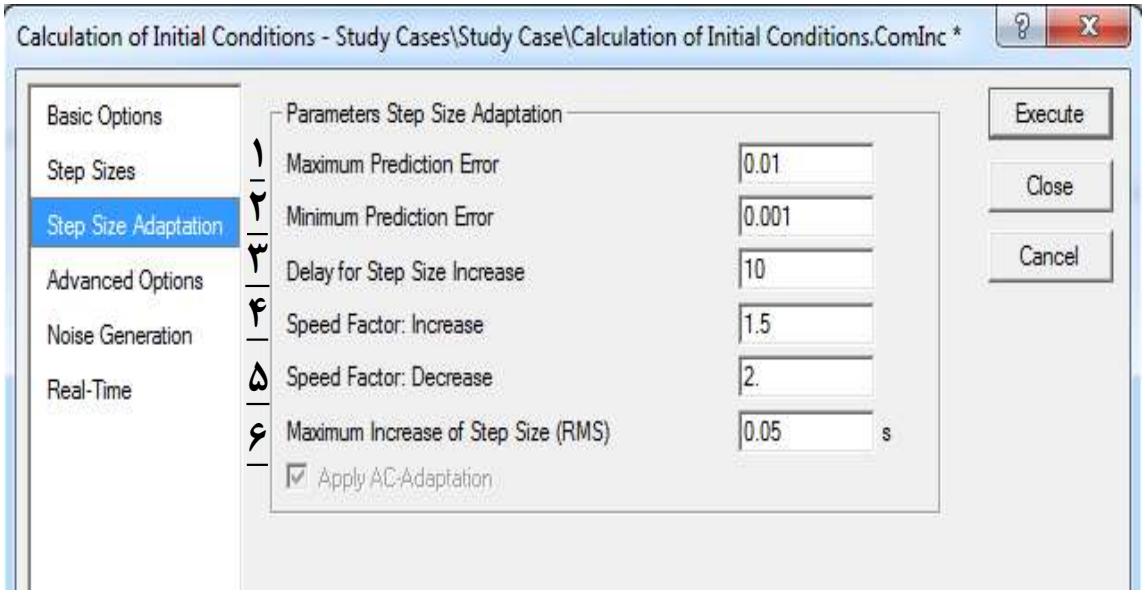
۷) Electromechanical Transients: حداقل بازه زمانی مورد نظر شبیه‌سازی که مقدار پیش‌فرض آن ۰,۰۱ است.

۸) Maximum Step Time: بازه زمانی شبیه‌سازی برای گراف‌های خروجی در این قسمت قابل تنظیم است. در حقیقت مقدار نمونه برداری به منظور ترسیم نمودارها در خروجی در این قسمت تعیین می‌شود.

۹) Start Time: به صورت پیش‌فرض، زمان شروع شبیه‌سازی منفی است و اولین رخداد(Event) به صورت پیش‌فرض در لحظه t=0 اتفاق می‌افتد.

ج) تطبیق اندازه گام (Step Size Adaption)

در صورتیکه گزینه Automatic Step Size Adaption در قسمت Basic Option فعال باشد، در قسمت Step Size Adaption کاربر می‌تواند پارامترهای بیشتری را تنظیم کند.



شکل (۵-۱۴): تطبیق اندازه گام

۱۰) Maximum Prediction Error: حداکثر خطای پیش‌بینی شده (مقدار پیش‌فرض ۰,۰۱)

۱۱) Minimum Prediction Error: حداقل خطای پیش‌بینی شده (مقدار پیش‌فرض ۰,۰۰۱)

۱۲) Delay for Step Size Increase: مقدار تاخیر در افزایش گام‌های زمانی (مقدار پیش‌فرض ۱۰)

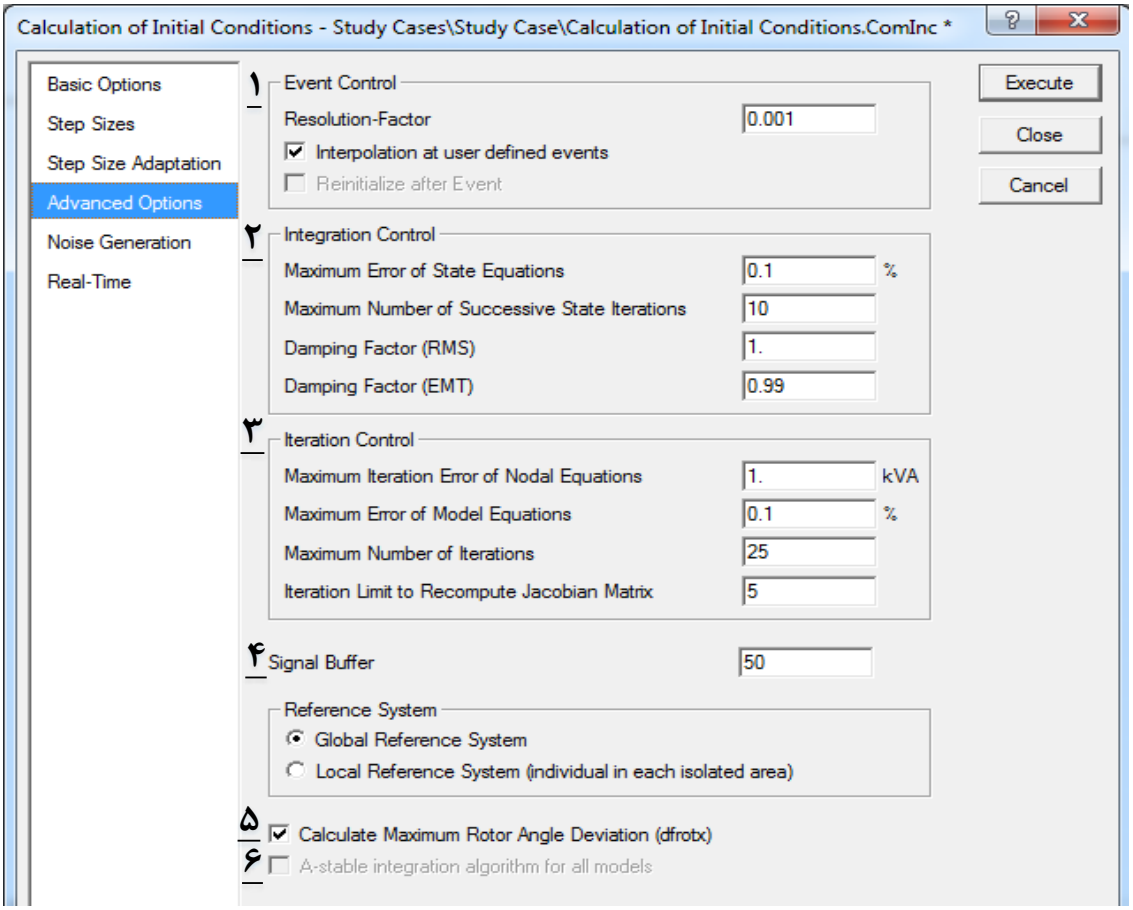
۱۳) Speed Factor Increase: فاکتور سرعت برای افزایش گام‌های زمانی (مقدار پیش‌فرض ۱,۵)

۱۴) Speed Factor decrease: فاکتور سرعت برای کاهش گام‌های زمانی (مقدار پیش‌فرض ۲)

۱۵) Maximum Increase of Step Size: حداکثر افزایش برای گام زمانی (مقدار پیش‌فرض برای RMS برابر ۰,۰۵ و برای EMT برابر ۰,۰۰۱ است)

د) گزینه‌های پیشرفته (Advanced Option)

این گزینه به کاربران حرفه‌ای امکان تنظیمات مختلف(تنظیم حاشیه، خطاها، محدودیت تکرارها، فاکتورهای میرا کننده و...) به منظور عملکرد بهتر الگوریتم‌های شبیه‌سازی را می‌دهد. در این بخش داریم:



شکل (۵-۱۵): گزینه‌های پیشرفته

۱۶) کنترل رخدادها (Event Control): گزینه Resolution Factor مدت زمان استفاده شده برای سنکرون کردن رویدادها را تعیین می‌کند. هر زمانی که یک رخداد داخلی یا خارجی رخ دهد، نرم‌افزار همه متغیرهای حالت را تا لحظه‌ای که خطا رخ داده است درون‌یابی کرده و شبیه‌سازی را در این مرحله Restart می‌کند. ضریب Resolution Factor بزرگتر، مینیمم بازه زمانی بین رخدادها را کاهش می‌دهد. مقدار پیش‌فرض برابر ۰,۰۰۱ است. اگر یک رخداد اتفاق بیفتد دو گزینه دیگر در دسترس کاربر خواهند بود.

الف) Interpolation at user defined events: محاسبه V(t) و V(t+1) با استفاده از روش‌های مخصوص عددی در نرم‌افزار دیگسایلنت به نحوی صورت خواهد پذیرفت که نوسان‌های عددی نداشته باشیم.

ب) Re-Initiate After Event: محاسبه V(t) و V(t+1). بنابرایت دو مقدار در یک زمان خواهیم داشت، یکی قبل از وقوع خطا و دیگری بعد از وقوع خطا. این روش در صورتی که این گزینه تیک خورده باشد وارد محاسبات خواهد شد.

۱۷) Integration Control: این قسمت تنظیمات کنترل فرآیند همسان سازی را به نحوی انجام می-دهد که نتایج دقیقی را برای متغیرهای حالت نتیجه دهد.

۱۸) Iteration Control: این قسمت به منظور کنترل تکرار در روش‌های تکراری استفاده می‌شود که هدف آن مشخص کردن حداکثر تعداد خطاها، حداکثر تعداد تکرارها و غیره است.

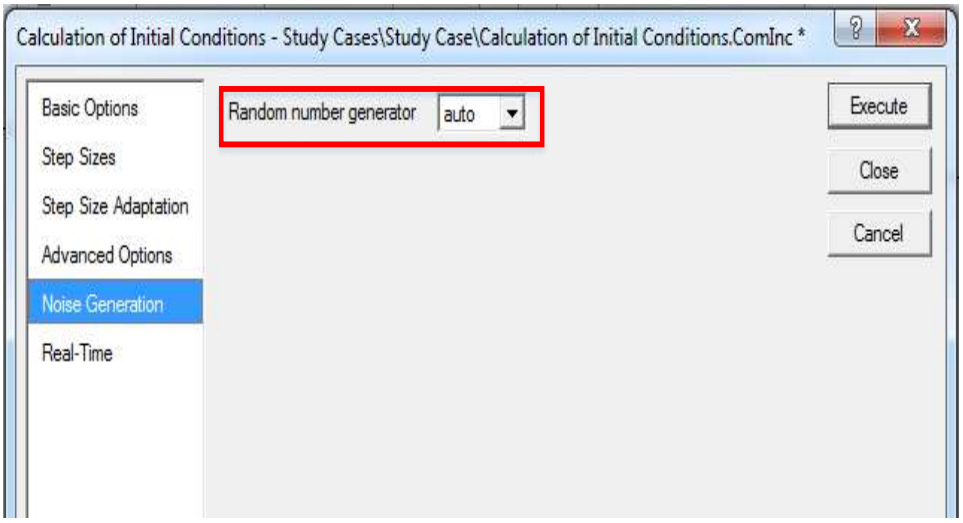
۱۹) Signal Buffer: نرم‌افزار دیگسایلنت در آنالیز پایداری خود از زاویه یک ماشین مرجع به عنوان رفرنس برای محاسبه بقیه زوایای شبکه استفاده می‌کند. در حالتی که شبکه به صورت چند جزیره‌ای در آمده است، با انتخاب گزینه Global Reference Machine می‌توان برای کل شبکه یک ماشین مرجع انتخاب نمود. در مقابل در صورتی که گزینه Local Reference Machine انتخاب شود برای هر جزیره یک ماشین مرجع جداگانه محاسبه می‌شود. حالت اول زمانی استفاده می‌شود که شبکه جزیره‌ای شده پس از مدت زمانی در شبیه‌سازی ، مجددا با شبکه اصلی سنکرون شود. انتخاب گزینه دوم باعث پایداری عددی بالاتر و سریعتر شدن زمان شبیه‌سازی خواهد شد.

۲۰) Calculation Maximum Rotor Angle Stability: نرم‌افزار دیگسایلنت می‌تواند ماکزیمم انحراف بین زوایای روتور ماشین‌های سنکرون موجود در شبکه را محاسبه نماید. این متغیر می-تواند به عنوان یک اندیس برای عملکرد ماشین‌های سنکرون در سیستم‌های انتقال بزرگ استفاده شود.

۲۱) A-stable integration algorithm for all models: در صورت فعال شدن این گزینه نرم‌افزار دیگسایلنت از الگوریتم عددی A-stable برای همه مدل‌ها به منظور حل مسئله شبیه‌سازی استفاده می‌کند. در این حالت معادلات مدل‌های شبکه به صورت همزمان حل خواهند شد. این روش نسبت به روش Step Size کندتر بوده اما همگرایی بهتری در اندازه گام‌های زمانی بزرگ خواهد داشت.

ه) تولید نویز (Noise Generation)

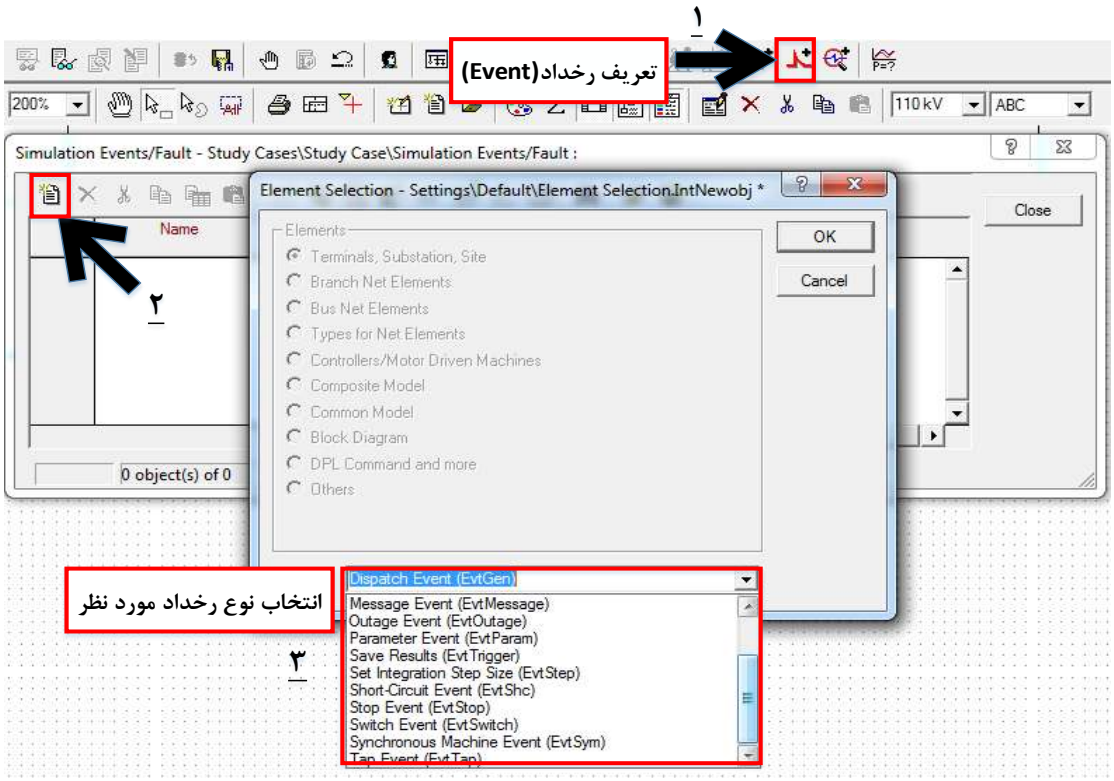
این قسمت پارامترهای تولید نویز برای کاربردهای تصادفی را تعریف می‌کند. به عبارت دیگر کاربر می‌تواند در مطالعات گذرا، سیگنال‌های نویزی را به صورت اعداد تصادفی تولید کند. در این قسمت قرار دادن گزینه Random Number Generation در حالت Auto، می‌تواند باعث تولید اتوماتیک نویز شود.



شکل (۵-۱۶): تولید نویز

تعریف رخداد (Event)

به شرایطی که منجر به تغییرات سیستم در طول شبیه‌سازی زمانی شود، رخداد (Event) می‌گویند. نحوه تعریف رخداد در شکل (۵-۱۳) بیان شده است.

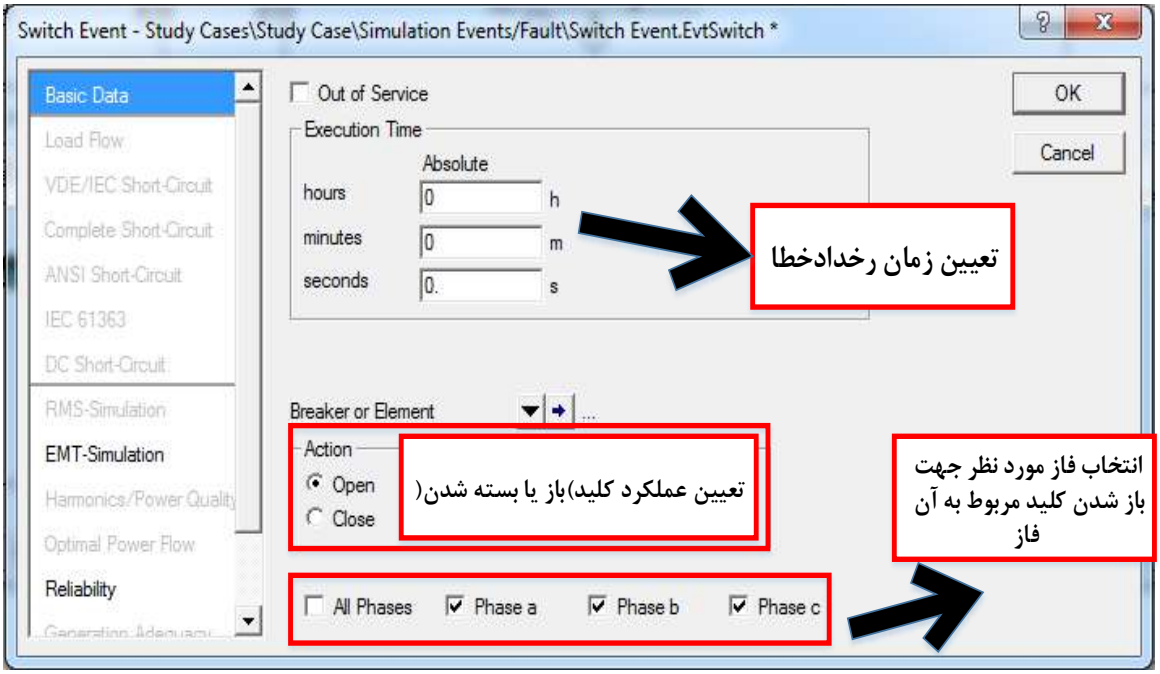


شکل (۵-۱۷): تعریف نوع رخداد

همانگونه که مشاهده می‌شود نرم‌افزار دیگسایلنت رخدادهای متفاوتی را میتواند تعریف کند که در ادامه به بیان آنها می‌پردازیم:

الف) رخداد کلیدزنی (Switch Event)

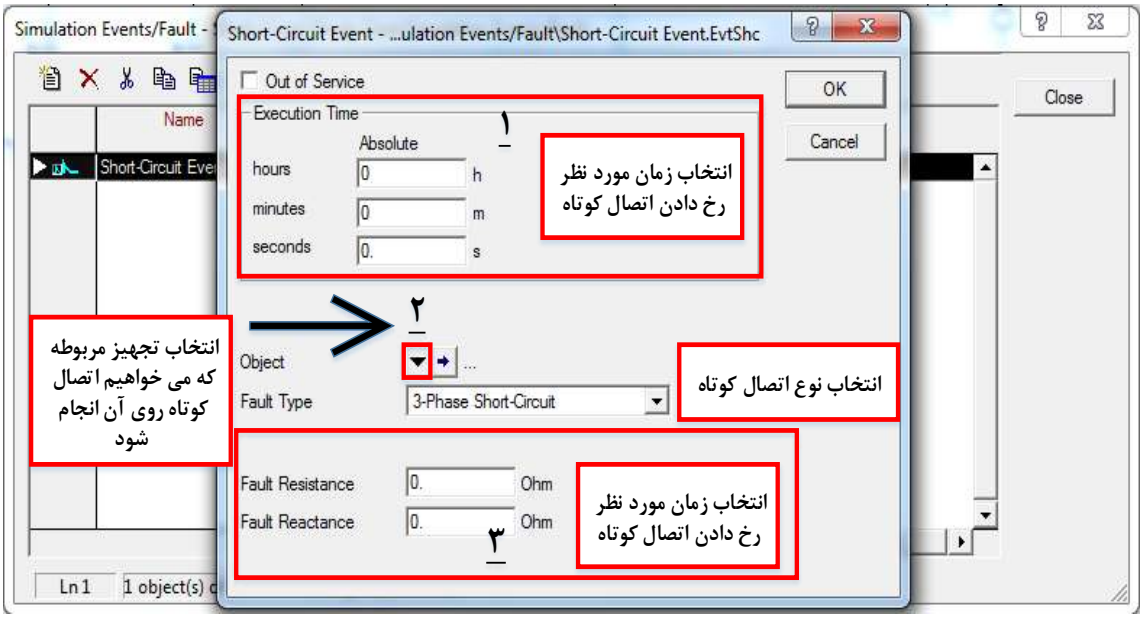
این رخداد به منظور باز و بسته کردن کلیدها در مطالعات شبکه به کار می‌رود. بدین منظور و با توجه به نوع مطالعه مورد نظر، می‌توان خط، ژنراتور، موتور و بار را قطع یا وصل نمود. همچنین کاربر می‌تواند یک، دو یا سه فاز را با توجه به اهداف مطالعه باز یا بسته نماید.



شکل (۵-۱۸): رخداد کلیدزنی

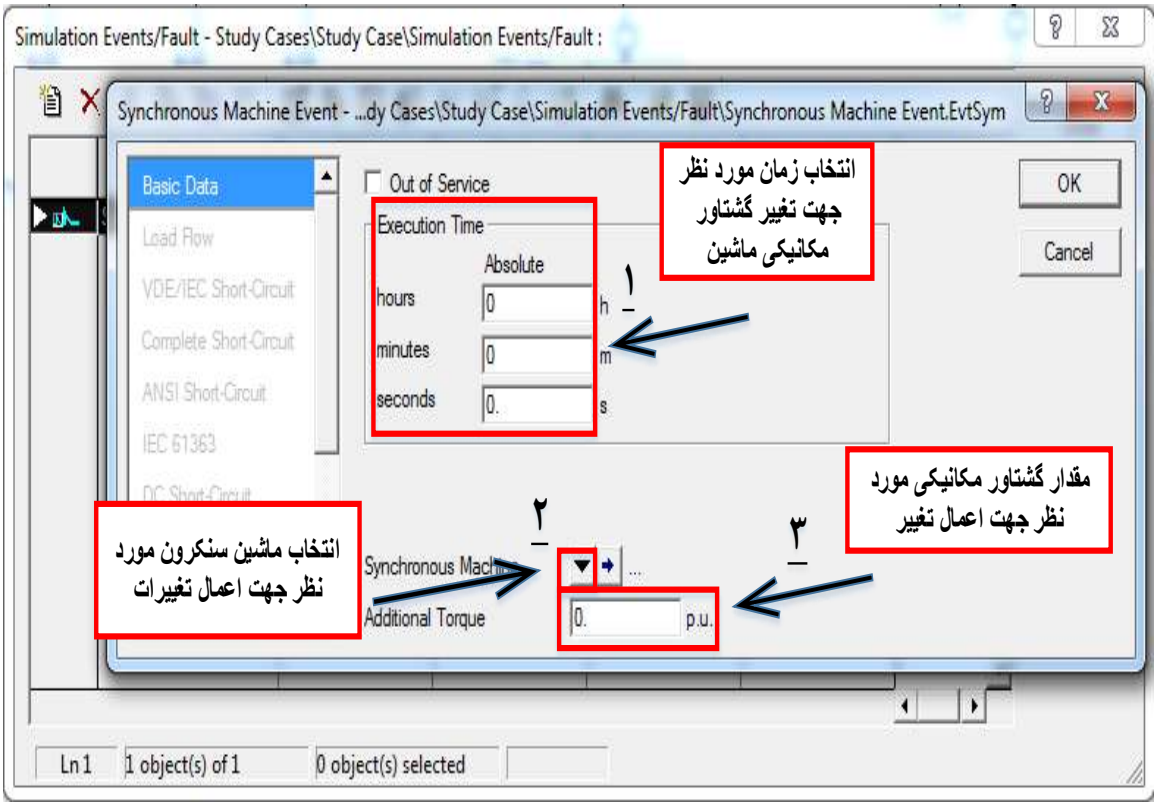
ب) رخداد اتصال کوتاه (Short Circuit Event)

به وسیله این رخداد می‌توان اتصال کوتاه‌های متفاوتی(تکفاز، دوفاز، سه فاز) در باس بار، خط و غیره با در نظر گرفتن امپدانس اتصال کوتاه تعریف نمود.



شکل (۵-۱۹): رخداد اتصال کوتاه

ج) رخداد ماشین سنکرون (Synchronous Machine Event)



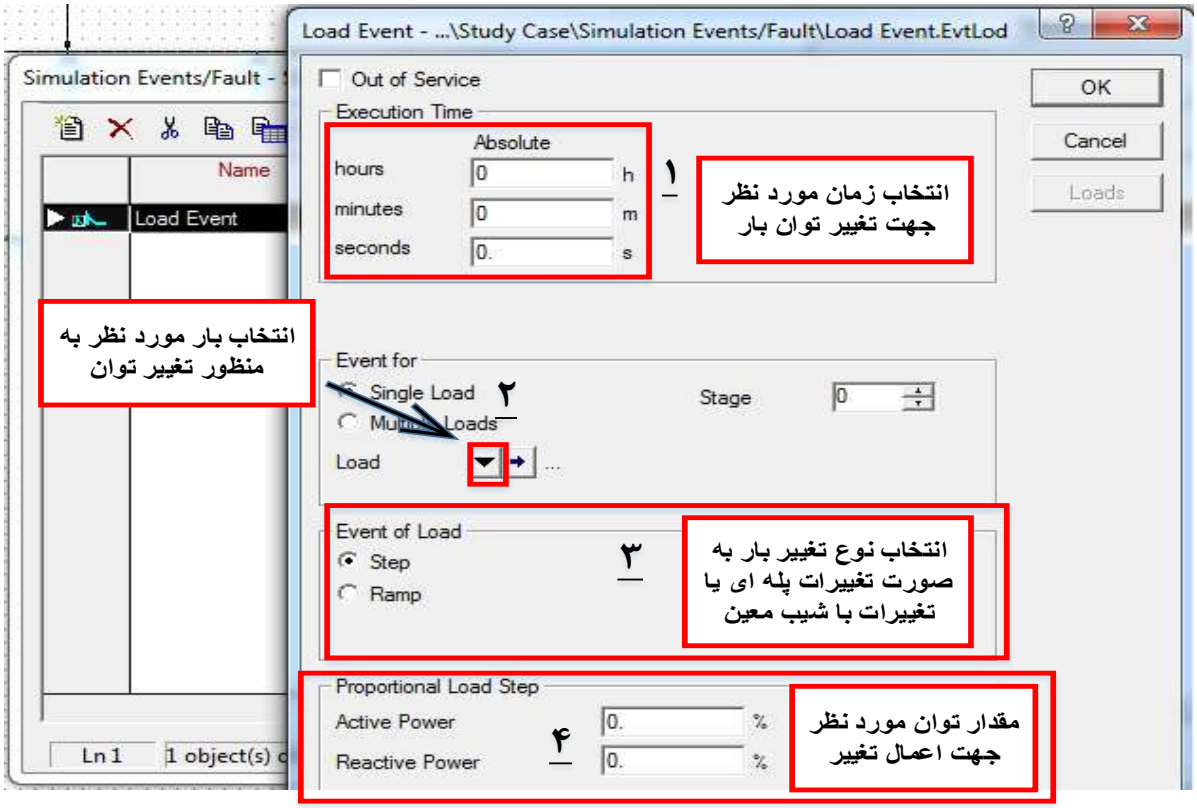
شکل (۵-۲۰): رخداد ماشین سنکرون

در این رخداد گشتاور مکانیکی ماشین سنکرون را می‌توان تغییر داد (عدد مثبت به منزله اضافه نموده و عدد منفی به منزله کاهش گشتاور). جهت تعریف رخداد بایستی کاربر زمان رخداد، ماشین سنکرون

مورد نظر و مقدار گشتاور مکانیکی مورد نظر جهت تغییر (بر حسب پریونیت) را درکادر مربوطه وارد نماید.

د) رخداد بار (Load Event)

این رخداد می‌تواند مقادیر توان اکتیو و راکتیو بار را تغییر دهد.



شکل (۵-۲۱): رخداد بار

ه) رخداد تغییر تپ ترانسفورماتور (Tap Event)

این رخداد می‌تواند باعث تغییر تپ ترانس و یا پله‌های بانک‌های عناصر موازی (مثل خازن) شود.

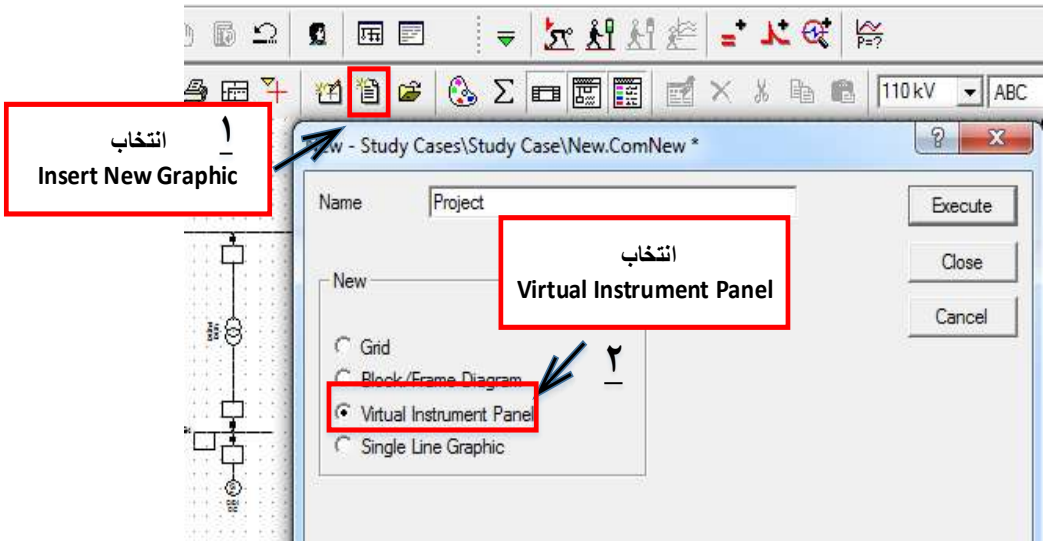
شکل (۵-۲۲): رخداد تغییر تپ ترانسفورماتور

المان نتایج و مجموعه متغیرها

در محاسبات شبیه‌سازی RMS و EMT تعداد بسیار زیادی از متغیرها در طول شبیه‌سازی تغییر می-کنند. در نرم‌افزار دیگسایلنت به منظور مشاهده تغییرات متغیرهای مورد نظر در المانی خاص، فراخوانی آن المان و متغیرهای مربوطه ضروری است. بدین منظور روی المانی که می‌خواهیم متغیرهای آن را بررسی نماییم کلیک راست نموده و از گزینه Define، Variable Set را انتخاب می‌کنیم.

گراف خروجی

پس از اجرای شبیه‌سازی، مشاهده و بررسی نمودارهای متغیرهای مختلف امری ضروری است. بدین منظور لازم است که مطابق شکل زیر یک پنل ابزار مجازی تعریف شده و نمودارهای مربوطه را رسم نماییم.



شکل (۵-۲۳): ایجاد پنل ابزار مجازی به منظور مشاهده منحنی نتایج مطالعات دینامیکی

۵-۹- نتیجه‌گیری

پس از شبیه‌سازی و استخراج نتایج و نمودارها، بایستی به تحلیل نتایج آن‌ها پرداخت. همان‌گونه که در ابتدای گزارش ذکر شد، زمان بحرانی رفع خطا مهم‌ترین پارامتر در تعیین میزان پایداری گذرای شبکه شامل تولیدات پراکنده است، به گونه‌ای که میزان زمان بحرانی رفع خطا نباید از ۱۵۰ درصد بیشترین زمان عملکرد رله‌ها کمتر باشد. در صورتی که این قاعده رعایت نشود، باید به نحوی میزان زمان بحرانی رفع خطا زیاد شود یا اینکه تنظیمات زمانی رله‌ها تغییر یابند تا بیشترین زمان عملکرد رله‌ها قاعده فوق را رعایت کنند. لذا به منظور برقراری این قاعده روش‌های زیر پیشنهاد می‌گردد:

الف) بکارگیری چرخ لنگر برای افزایش ثابت اینرسی توربوژنراتور

ب) کاهش زمان رفع خطا در شبکه

ج) ورود بار موقت (در صورت نیاز) پس از قطع PCC (محل اتصال مشترک)

د) تغییر سریع مد کنترلی سیستم تحریک

ه) به کارگیری جبران‌سازهای الکترونیکی Voltage Sag در شبکه توزیع (مانند انواع DVR)

ی) محدودساز جریان خطا (در فیدرهای خروجی)

در بسیاری از پروژه‌های اجرا شده در کشور، برای حفاظت مولد سنکرون در برابر ناپایداری گذرا و سایر اغتشاشات، از یک رله جریان زیاد آنی با تنظیم جریان حد عملکرد ۲ تا ۲,۵ برابر جریان نامی مولد استفاده می‌شود. این رله به کلید قدرت اصلی ژنراتور (GCB) فرمان قطع را ارسال می‌نماید. لذا می‌توان این روش را به منظور ۷حفاظت مولد سنکرون در برابر ناپایداری گذرا استفاده کرد. لازم به ذکر است که

به دلیل این‌که این مولدها از نوع سنکرون هستند، لذا عملکرد این کلید، منافاتی با بحث قابلیت گذر از افت ولتاژ (LVRT) نخواهد داشت.

فصل ششم

مطالعات کیفیت توان

۶-۱- مقدمه

امروزه توجه شرکت‌های برق و مشترکین آن‌ها به شکل روز افزونی به مسئله کیفیت انرژی الکتریکی معطوف شده است. واژه کیفیت توان در کشورهای صنعتی و در صنعت برق کاربرد فراوانی پیدا نموده است. مبحث فوق تعداد بسیار زیادی از اعوجاج‌های موجود در شبکه برق را پوشش می‌دهد. موضوعاتی که تحت مبحث کیفیت برق قرار می‌گیرند، لزوما مفاهیم تازه‌ای نیستند. لیکن آنچه جدید است، تلاش مهندسین برای جمع‌آوری این مطالب و قرار دادن آن‌ها در الگوهای مشخص می‌باشد. مفهوم کیفیت توان را می‌توان در قالب زیر تعریف نمود:

"هر گونه تغییر در کمیت‌های ولتاژ، جریان و فرکانس که سبب خرابی و یا عملکرد نادرست تجهیزات مصرف کننده گردد."

به طور کلی می‌توان دلایل زیر را برای توجه به مبحث کیفیت توان ذکر نمود:

- حساسیت تجهیزات الکتریکی جدید نسبت به تغییرات کیفیت برق بیشتر شده است. بسیاری از وسایل الکتریکی جدید از کنترل‌کننده‌های میکروپرسسوری و المان‌های الکترونیک قدرت استفاده می‌کنند و این تجهیزات به بسیاری از انواع اعوجاج‌های موجود در شبکه قدرت حساس می‌باشند. حساسیت این تجهیزات الکتریکی به نوبه خود عملکرد نامناسب تجهیزات منجر خواهد شد که با توجه به تعداد زیاد این وسایل به خصوص در مراکز صنعتی، بیمارستانی، آزمایشگاهی و مانند آن‌ها مسایل خاصی را به دنبال خواهد داشت و به عنوان مثال می‌توان به تاثیر منفی عملکرد نامناسب تجهیزات کنترل کننده و حفاظتی در مراکز صنعتی اشاره نمود.
- تاکید روز افزون بر بهبود راندمان کلی شبکه‌های قدرت، باعث استفاده از وسایلی از قبیل محرکه‌های موتور با قابلیت تنظیم سرعت و نیز خازن‌های موازی برای بهبود ضریب قدرت شده است. به کمک این خازن‌ها میزان تلفات شبکه کاهش می‌یابد. خازن‌ها مشخصه امپدانس-فرکانس شبکه را تغییر می‌دهند و باعث ایجاد پدیده تشدید و در نتیجه تقویت اعوجاج به صورت گذرا و نیز افزایش سطح اعوجاج هامونیکی در شبکه قدرت می‌گردند. این امر توجه افراد خبره را به تاثیر آینده این گونه وسایل بر روی توانایی‌های سیستم قدرت (هم از دیدگاه مشترکین و هم از دیدگاه شرکت‌های برق) جلب کرده است. این پدیده خود عامل به وجود آمدن مشکلات جدیدی شده است که نیاز به بررسی تاثیرات متقابل این گونه تجهیزات بر سیستم و سیستم بر این گونه تجهیزات را لازم می‌سازد.

- آگاهی نسبت به مسایل کیفیت توان نزد مشترکین بالا رفته است. موضوعاتی از قبیل پایین بودن ولتاژ و پدیده‌های گذرای مربوط به کلید زنی روز به روز مورد توجه مشترکین بیشتری قرار گرفته و شرکت‌های برق را وادار می‌سازد که کیفیت برق تحویلی به مشترکین را بهتر سازند. این بدان معناست که مشترکین مانند گذشته فقط به داشتن برق اکتفا نمی‌کنند، بلکه برقی با کیفیت بالا مورد نظر آن‌ها می‌باشد. به نحوی که تمامی تجهیزات مدرن به کار گرفته شده به نحو مطلوبی مورد استفاده قرار گیرند.
- به دلیل گستردگی و به هم پیوستگی شبکه توزیع، خرابی هر المان که می‌تواند ناشی از شرایط نامطلوب کیفیت توان باشد (برای مثال شکست عایقی ناشی از افزایش ولتاژ موقت)، روی دیگر تجهیزات شبکه تاثیر نامطلوب می‌گذارد.
- برای بیشتر مشترکین دستگاه‌های تشخیص و حفاظت در برابر اعوجاج و دیگر عناصر نامطلوب بر کیفیت توان وجود ندارد و در نتیجه می‌تواند باعث خسارت‌های جبران ناپذیری به مشترکین گردد.

ظهور تکنولوژی منابع تولید پراکنده و اتصال آنها به شبکه توزیع نگرانی‌های جدیدی را در رابطه با کیفیت توان مطرح می‌کند. وجود این مولدها می‌تواند با تزریق هارمونیک در سطح شبکه توزیع و فوق توزیع از کیفیت توان برق بکاهد.

۶-۲- مسائل مربوط به کیفیت توان

یکی از مسائل مهم اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه، اثرات احتمالی آنها بر کیفیت توان تحویلی به مشتریانی است که به شبکه برق متصل هستند. مبحث کیفیت توان شامل موارد زیر است:

- تنظیم ولتاژ: نگه داشتن ولتاژ در بازه قابل قبول در نقطه تحویل توان به مشتری.
- فلیکر: تغییرات مکرر و سریع ولتاژ که منجر به نوسانات غیر قابل قبول در نور چراغ‌ها و سایر اثرات مخرب بر مصرف‌کنندگان و تجهیزاتشان می‌شود.
- عدم تعادل ولتاژ: شرایطی که ولتاژ شبکه دارای دامنه ولتاژ یکسان در سه فاز نیست و/یا اختلاف فاز ۱۲۰ درجه بین فازها وجود ندارد.
- اعوجاج هارمونیکی: تزریق جریان‌هایی با مؤلفه‌های فرکانسی که ضرایبی از فرکانس اصلی هستند.

۶-۲-۱- تنظیم ولتاژ

یکی از اهداف اولیه طراحی سیستم توزیع، تغذیه مصرف‌کنندگان با ولتاژ در بازه قابل قبول می‌باشد. استاندارد ANSI C84.1 دو بازه ولتاژ را تعیین نموده است: بازه A برای شرایط عادی و باز وسیع‌تر B برای شرایط غیر عادی که نرخ وقوع آنها کم است. استاندارد مذکور، ولتاژ کاری بازه A را بین ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ پریونیت مشخص کرده است. این ولتاژ کاری در نقطه تحویلی به مشترک است. بنابراین حد پایین ولتاژ فیدر اولیه باید بیشتر از ۹۵٪ ولتاژ نامی باشد تا افت ولتاژ ترانسفورماتور و کابل در شرایط بار کامل پوشش داده شود. عموماً جهت نیل به این هدف نیاز است حداقل ولتاژ فیدر اولیه بیشتر از ۹۸٪ ولتاژ نامی لحاظ گردد.

طراحی تنظیم ولتاژ سیستم توزیع بر مبنای تغییرات نسبتاً قابل پیش‌بینی در بار روزانه و فصلی انجام می‌شود. بدون حضور منبع تولید پراکنده، شارش توان همواره در یک جهت است و اندازه توان حقیقی (کیلووات) با افزایش فاصله از پست به صورت یکنواخت کاهش می‌یابد. اما اضافه شدن تولید پراکنده به سیستم می‌تواند الگوهای شارش توان را به طور اساسی تغییر دهد و آنها را غیر قابل پیش‌بینی نماید. قوانین و سیاست‌های اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه به آنها اجازه تزریق توان به شبکه یا قطع توان را می‌دهد. شارش توان با توجه به محل بارها و منابع تولید پراکنده در طول فیدر تغییر می‌یابد. این تغییرات در شارش توان، تنظیم ولتاژ مناسب را دشوار می‌کند. مسائل مهمی که در بحث تنظیم ولتاژ مطرح است به شرح زیر می‌باشد. این مسائل می‌بایست در مطالعات کیفیت توان مد نظر قرار گیرد.

۱- اضافه ولتاژهای ناشی از شارش توان معکوس: اگر توان خروجی تولید پراکنده از بار فیدر بیشتر شود، منجر به افزایش ولتاژ فیدر با افزایش فاصله خواهد شد. اگر ولتاژ انتهایی پست نزدیک به حداکثر مقدار قابل قبول نگه داشته شود، ولتاژهای پایین دست فیدر ممکن است از محدوده مجاز فراتر رود.

۲- اثرات متقابل با LTC[1] و SVR[2]: تپ چنجر (LTC) و رگولاتور ولتاژ (SVR) بر اساس جریان اکتیو و راکتیو اندازه‌گیری شده در محل، مقدار ولتاژ را تنظیم می‌کنند. در سیستم توزیع بدون حضور منبع تولید پراکنده، می‌توان فرض کرد شارش جریان در محل این تجهیزات کنترلی مشابه سایر نقاط پایین دست آن محل می‌باشد. ولی حضور منبع تولید پراکنده می‌تواند منجر به تغییرات محلی در الگوی شارش جریان گردد که مشابه سایر نقاط در آن فیدر نیست. در نتیجه تپ چنجر یا رگولاتور

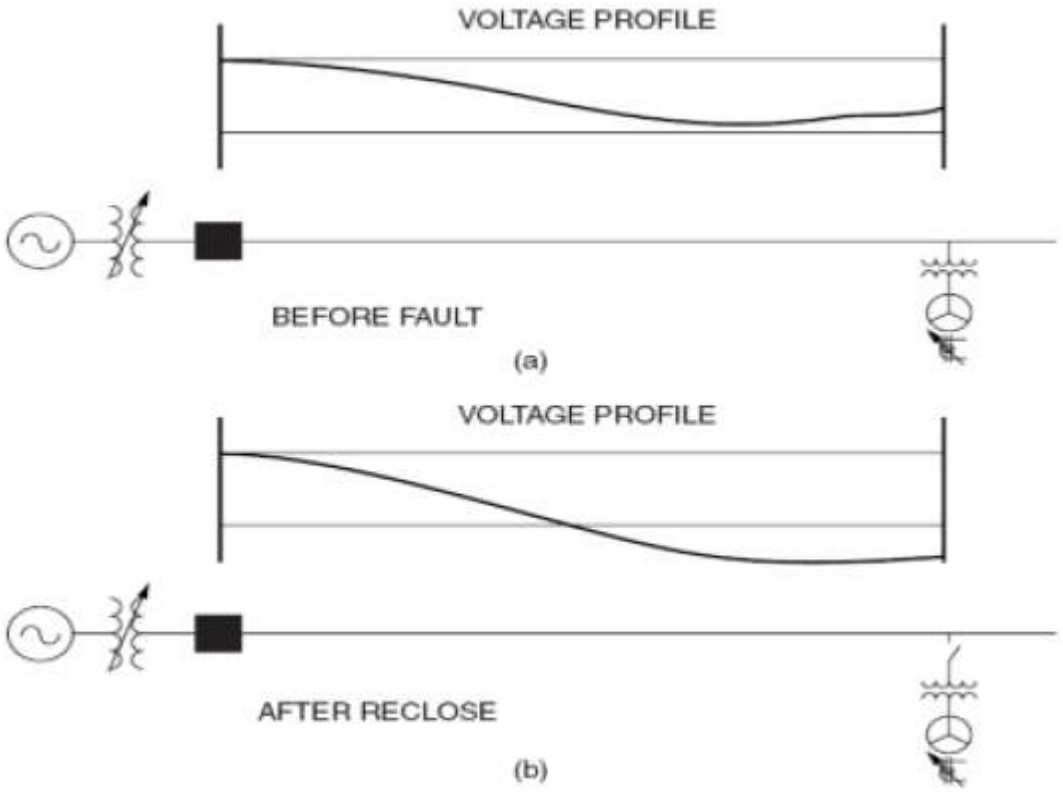
[1] Load Tap Changer

[2] Step Voltage Regulator

ولتاژ ممکن است به گونه‌ای تنظیم شوند که پروفیل ولتاژ مناسبی حاصل نشود. اگر تزریق توان به شبکه توسط یک منبع تولید پراکنده بزرگ، بلافاصله در پایین دست یک رگولاتور ولتاژ انجام شود، شارش جریان از رگولاتور ممکن است به شدت کاهش یابد یا حتی معکوس شود. در نتیجه رگولاتور قادر نخواهد بود اضافه ولتاژ کافی را فراهم آورد و لذا ولتاژ در نقاط پایین دست کمتر از بازه قابل قبول خواهد بود.

۳- اثر حضور یا عدم حضور منبع تولید پراکنده در پروفیل ولتاژ: شکل (۶-۱) یکی از مشکلات تنظیم ولتاژ در شرایط حضور یا عدم حضور منبع تولید پراکنده را نشان می‌دهد. این مشکل در نتیجه قطع منبع تولید پراکنده در صورت وقوع خطا ایجاد می‌شود.

شکل (۶-۱) الف پروفیل ولتاژ در طول فیدر قبل از وقوع خطا را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، حضور منبع تولید پراکنده باعث شده که ولتاژ در بازه بین دو حد نشان داده شده نگه داشته شود که این همان هدف تنظیم ولتاژ است. با وقوع خطا، منبع تولید پراکنده قطع می‌شود و تا ۵ دقیقه نیز قطع می‌ماند. ولی کلید اتصال به شبکه پس از چند ثانیه با مکانیزم بازبست خودکار وصل می‌شود که منجر به شرایط نشان داده شده در شکل (۶-۱) ب می‌گردد. همانطور که مشاهده می‌شود ولتاژ انتهای فیدر از مقدار حداقل مجاز کمتر می‌شود و شرایط تنظیم ولتاژ از بین می‌رود.



شکل (۶-۱): پروفیل ولتاژ در شرایط قبل و بعد از وقوع خطا

۶-۲-۲- فلیکر

یکی از مسائل مهم در مبحث کفیت توان، فلیکر است که مقدار بیش از حد آن موجب شکایت و نارضایتی مشترکین خواهد شد. در شرایطی که منبع تولید پراکنده به صورت جدا از شبکه (جزیره‌ای) کار می‌کند، تغییرات ناگهانی در بار از جمله روشن و خاموش شدن تهویه مطبوع، یخچال، کمپرسور، دستگاه جوش، ماشین لباسشویی و ... منجر به افت ولتاژ می‌شود و لذا ولتاژ خروجی منبع تولید پراکنده دچار نوسان خواهد شد و فلیکر و سوسو زدن چراغ‌ها به وجود می‌آید. در شرایط متصل به شبکه، به دلیل تثبیت ولتاژ توسط شبکه این مشکل کمتر به وجود می‌آید. ولی همچنان در شبکه با یک خط ضعیف، احتمال ایجاد فلیکر وجود دارد.

علاوه بر تغییرات بار، نوسانات در توان تحویلی منبع تولید پراکنده به شبکه نیز می‌تواند منجر به ایجاد فلیکر شود. در صورتیکه منبع انرژی (مانند توربین بادی یا پیل سوختی) دارای نوسانات مکانیکی (یا شیمیایی) در توان خروجی باشد و تجهیزات الکتریکی آن (از قبیل باس DC و اینورتر) انرژی ذخیره شده

کافی برای هموار نمودن این نوسانات را نداشته باشند، منبع تولید پراکنده توان غیر یکنواخت و نوسانی تزریق خواهد نمود.

با توجه به موارد فوق، اندازه‌گیری فلیکر ولتاژ و تعیین حد قابل قبول فلیکر کار دشواری است. استانداردهای IEEE و IEC راهنماهایی در این خصوص ارائه کرده‌اند؛ از جمله IEC 61000-4-15، IEC 61000-3-3، IEC 61000-3-5 و IEEE-P1453.

بر اساس مطالعات صورت گرفته، نکات زیر در خصوص تأثیر منبع تولید پراکنده بر فلیکر ناشی از تغییرات بار قابل توجه است:

- منابع تولید پراکنده غیر اینورتری مانند ژنراتور سنکرون، قدرت اتصال کوتاه را افزایش می‌دهند و در نتیجه در خصوص فلیکر عملکرد بهتری نسبت به منابع تولید پراکنده اینورتری دارند. به عبارت دیگر، با حضور منبع تولید پراکنده غیر اینورتری، مقدار فلیکر ولتاژ در اثر نوسانات بار کمتر است.
- افزودن سیستم کنترل ولتاژ برای منابع تولید پراکنده غیر اینورتری تقریباً در بهبود عملکرد در خصوص فلیکر بی‌تأثیر است.
- منابع تولید پراکنده اینورتری در مود جریان ثابت و بدون سیستم تنظیم ولتاژ، تأثیر بسیار کمی در بهبود عملکرد در خصوص فلیکر دارند.
- در صورت مجهز شدن به سیستم تنظیم ولتاژ، عملکرد منابع تولید پراکنده اینورتری در خصوص فلیکر بهبود قابل توجهی خواهد داشت.

۶-۲-۳- عدم تعادل ولتاژ

عدم تعادل ولتاژ شبکه در اثر عوامل مختلف از جمله نامتعادلی بار و نامتقارن بودن امپدانس خط به وجود می‌آید. اثرات مهم نامتعادلی ولتاژ شبکه بر روی منابع تولید پراکنده عبارتند از:

- تزریق جریان‌های هارمونیکی اضافه به شبکه و در نتیجه تضعیف کیفیت توان
- ایجاد مؤلفه‌های هارمونیک دوم که منجر به افزایش تلفات، تحت فشار قرار گرفتن تجهیزات اینورتر و اثر نامطلوب بر منبع dc (به عنوان مثال باتری که برای ذخیره‌سازی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد) می‌شود.
- نامتعادلی جریان اینورتر ناشی از نامتعادلی ولتاژ، تلفات اینورتری را کمی افزایش می‌دهد.

۶-۲-۴- اعوجاج هارمونیکی

کلیه تجهیزات الکترونیک قدرت اعوجاجاتی در جریان ایجاد می‌کنند که بر تجهیزات مجاور اثر می‌گذارد. منابع تولید پراکنده اینورتری از قبیل سلول‌های خورشیدی و پیل‌های سوختی به دلیل دارا بودن ادوات الکترونیک قدرت، هارمونیک به شبکه تزریق می‌کنند که منجر به کاهش کیفیت توان خواهد شد. البته اینورترهای PWM نسبت به اینورترهای تایریستوری کموتاسیون خط[1] محتوای هارمونیکی به مراتب کمتری دارند.

یکی از مشکلات مطرح شده برای اینورترهای مدرن این است که فرکانس‌های کلیدزنی ناشی از قطع و وصل سوئیچ‌های مبدل قدرت، گاهی اوقات منجر به ایجاد رزونانس در سیستم توزیع می‌گردد. معمولاً برای حذف هارمونیک‌های کلیدزنی از فیلتر LC استفاده می‌شود که در نتیجه احتمال رزونانس خازن فیلتر با امپدانس شبکه وجود دارد. این شرایط بر ساعت‌ها و سایر مداراتی که به عبور از صفر ولتاژ تمیز و بدون اعوجاج وابسته هستند، اثر می‌گذارد.

۶-۳- اهداف

هدف از انجام مطالعات کیفیت توان، بررسی مقدار مجموع هامونیک‌های موجود در باس‌بارهای سیستم و مقادیر هامونیک‌های جریان است. در این مطالعات با مدل کردن منبع تولید پراکنده متصل به شبکه به عنوان یک منبع هارمونیک و همین طور مدل‌سازی هارمونیک بارها به بررسی تاثیر منبع تولید پراکنده بر سطح هارمونیک شبکه پرداخته شده است. لازم است مقادیر هارمونیک‌های به دست آمده در حضور منبع تولید پراکنده در محدوده مجاز قرار داشته باشد.

مقادیر مجاز هارمونیک ولتاژ و جریان در جداول (۶-۱) تا (۶-۳) نشان داده شده است. محدوده مجاز هارمونیک‌های ولتاژ به ازای سطوح مختلف ولتاژ بیان شده است.

[1] Line-commutated

جدول (۶-۱): محدوده مجاز هارمونیک ولتاژ

حداکثر هارمونیک ولتاژ مجاز در شینه‌های با ولتاژهای مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی ۵۰ هرتز			
ولتاژ شینه	اعوجاج تکی ولتاژ		اعوجاج ولتاژ کل (THD[1])
	فرد	زوج	
۳۸۰ ولت	۵/۰	۲/۵	۸/۰
۲۰ کیلوولت	۳/۰	۱/۵	۵/۰
۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت	۱/۵	۰/۷	۲/۵

جدول (۶-۲): محدوده مجاز هارمونیک فرد جریان برحسب درصدی از جریان نامی

مرتبه هارمونیک فرد تکی h	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	23≤h<50	TRD[2]
حداکثر اعوجاج (درصد) هارمونیک فرد	۴	۲	۱/۵	۰/۶	۰/۳	۵

جدول (۶-۳): محدوده مجاز هارمونیک زوج جریان برحسب درصدی از جریان نامی

مرتبه هارمونیک زوج تکی h	h=2	h=4	h=6	8≤h<50
حداکثر اعوجاج (درصد) هارمونیک زوج	۱/۰	۲/۰	۳/۰	مطابق مقادیر متناظر با بازه مربوطه در جدول ۶-۲

در جدول (۶-۲)، اعوجاج جریان نامی کل (TRD) که شامل اعوجاج‌های هارمونیکی و میان-هارمونیکی است، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\%TRD = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_1^2}}{I_{rated}} \times 100$$

[1] Total Harmonic Distortion

[2] Total Rated Current Distortion

در رابطه فوق:

I_1 :جریان مؤلفه اصلی

I_{rated} :ظرفیت جریان نامی منبع تولید پراکنده

I_{rms} :مقدار rms جریان منبع تولید پراکنده، که شامل همه مؤلفه‌های فرکانسی می‌باشد.

۶-۴- قیود

- مؤلفه‌های هارمونیکی و THD جریان و ولتاژ از مقادیر مجاز تجاوز نکند.
- پروفیل ولتاژ در محدوده مجاز باقی بماند.
- فلیکر ولتاژ از مقادیر مجاز تجاوز نکند.

۶-۵- ورودی‌ها

- اندازه‌گیری و آنالیز کیفیت توان شبکه توسط سرمایه‌گذار قبل از اتصال مولد به شبکه (به این منظور که سرمایه‌گذار از وضعیت کیفیت توان نقطه اتصال مطلع باشد و با آگاهی کامل نسبت به این موضوع، اقدام به سرمایه‌گذاری نماید)
- اطلاعات کامل تجهیزات شبکه (مؤلفه‌های هارمونیکی منابع تولید پراکنده، تجهیزات الکترونیک قدرت، مبدل‌ها و یکسوکننده‌ها، ضرایب فلیکر مولدهای تولید پراکنده و ...)
- نحوه اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه (اتصال به صورت مستقیم یا از طریق ترانسفورماتور و نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور متصل‌کننده)
- نوع سیستم اتصال به شبکه (از طریق کابل یا سیم هوایی)

۶-۶- خروجی‌ها

- طیف فرکانسی و مؤلفه‌های هارمونیک‌های جریان و ولتاژ
- THD جریان و ولتاژ
- امپدانس هارمونیکی سیستم
- تغییرات ولتاژ

۶-۷- مدل‌سازی سیستم و اطلاعات تجهیزات

مدل‌سازی سیستم باید مشابه فصل پخش‌بار انجام شود. رعایت نکات زیر برای مدل سازی تجهیزات الزامی است:

۱- در مدل‌سازی هارمونیکی تجهیز معادل شبکه عموما هارمونیک تزریقی به شبکه مورد مطالعه برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. درصورتی که تعداد منابع تولید پراکنده در نزدیکی شبکه مقدار قابل توجهی باشند لازم است مقدار هارمونیک نیز در مدل شبکه در نظر گرفته شود.

۲- در مدل‌سازی بارهای سیستم به دلیل اینکه در اغلب موارد اطلاعات هارمونیکی آنها در دسترس نیست می‌توان از جداول ۶-۴ و ۶-۵ استفاده نمود. نحوه ورود این اطلاعات بر اساس روش‌های توضیح داده شده برای ورود اطلاعات هارمونیکی تجهیزات باید به بر اساس استاندارد IEC61000 وارد شود. به طور کلی نحوه ورود بیشتر اطلاعات هارمونیکی تجهیزات بر اساس این روش است.

۳- نحوه مدل‌سازی و وارد کردن اطلاعات مطالعات کیفیت توان انواع مولدها در فصل ۲ توضیح داده شده است و بر اساس اطلاعات موجود از مولدها باید در نرم افزار پیاده‌سازی شود. همانطور که در قسمت قبل گفته شده است مولدها نیز عموما بر اساس استاندارد IEC61000 مدل می‌شوند.

۴- در مدل سازی تجهیزات غیر خطی (ژنراتورها و ترانسفورماتورها و مبدل‌های الکترونیک قدرت) لازم است حتی الامکان اطلاعات و توضیحات ارائه شده در فصل ۲ در نرم‌افزار پیاده‌سازی شود.

جدول (۶-۴): محدوده مجاز هارمونیک مشترکین در سطوح ولتاژ ۰،۴ و ۲۰ کیلوولت

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد
نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک

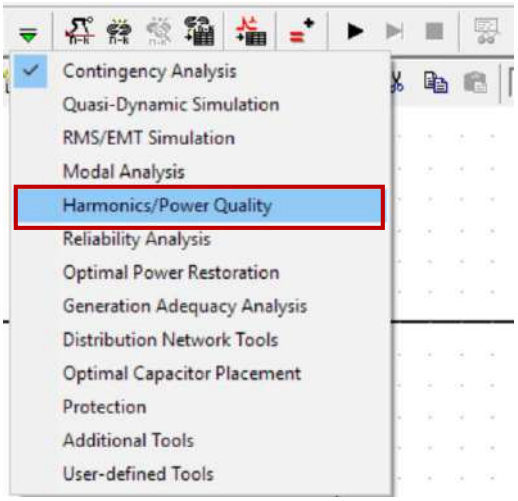
بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک n										اعوجاج کلی جریان (THD)
	n<11		11≤n<17		17≤n<23		23≤n<35		n≥35		
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R>5	۴	۱	۳	۰،۵	۱،۵	۰،۴	۰،۶	۰،۱	۰،۳	۰،۱	۵
$5 \geq R > 2$	۷	۱،۷	۳،۵	۰،۹	۲،۵	۰،۶	۱	۰،۳	۰۵	۰،۱	۸
$2 \geq R > 1$	۱۰	۲،۵	۴۵	۱،۱	۴	۱	۱،۵	۰،۴	۰،۷	۰،۲	۱۲
$1 \geq R > 0.1$	۱۲	۳	۵،۵	۱،۴	۵	۱،۲	۲	۰۵	۱	۰،۲	۱۵
$R \leq 0.1$	۱۵	۳،۸	۷	۱،۷	۶	۱،۵	۲،۵	۰،۶	۱،۴	۰،۳	۲۰

جدول (۶-۵): محدوده مجاز هارمونیک مشترکین در سطوح ولتاژ ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت

بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک										اعوجاج کلی جریان (THD)
	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک n										
	n<11		11≤n<17		17≤n<23		23≤n<35		n≥35		
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R>5	۲	۰,۵	۱	۰,۲	۰,۷	۰,۲	۰,۳	۰,۱	۰,۱	۰	۲,۵
$5 \geq R > 2$	۳,۵	۰,۹	۱,۷	۰,۴	۱,۲	۰,۳	۰,۵	۰,۱	۰,۲	۰	۴
$2 \geq R > 1$	۵	۱,۲	۲,۲	۰,۶	۲	۰,۵	۰,۷	۰,۲	۰,۳	۰,۱	۶
$1 \geq R > 0.1$	۶	۱,۵	۲,۷	۰,۷	۲,۵	۰,۶	۱	۰,۲	۰,۵	۰,۱	۷,۵
$R \leq 0.1$	۷,۵	۱,۹	۳,۵	۰,۹	۳	۰,۷	۱,۲	۰,۳	۰,۷	۰,۲	۱۰

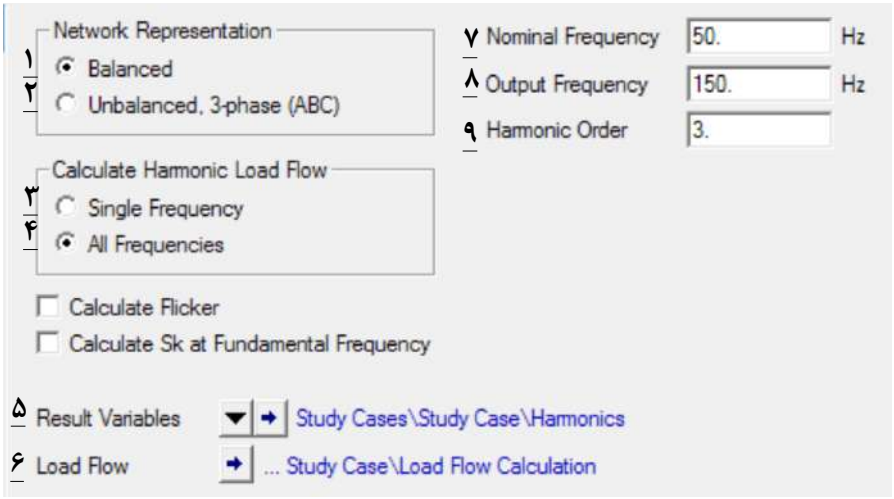
۶-۸- پیاده‌سازی نرم‌افزاری

پس از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز و مدل‌سازی شبکه لازم است جعبه ابزار محاسبات هارمونیکی را مطابق شکل زیر انتخاب کرد.



شکل (۶-۲): انتخاب جعبه ابزار کیفیت توان

سپس با انتخاب گزینه Calculate Harmonic Load flow پنجره زیر باز می‌شود. در این پنجره داریم:



شکل (۶-۳): تنظیمات مربوط به مطالعات کیفیت توان

۱- با انتخاب گزینه متعادل، تنها هارمونیک‌های فرد غیر مضرب ۳ (هارمونیک‌های۵، ۷، ۱۱ و غیره) محاسبه می‌شود.

۲- با انتخاب این گزینه می‌توان تحلیل هارمونیک‌های دیگر مانند هارمونیک‌های مضرب ۳، هارمونیک-های زوج و هارمونیک‌های غیر عدد صحیح را در پخش بار در نظر گرفت.

۳- با انتخاب این گزینه پخش بار هارمونیکی تنها بر اساس فرکانس خروجی که در قسمت ۸ یا ۹ توضیح داده شده است انجام می‌گیرد.

۴- در این حالت پخش بار بر اساس تمامی فرکانس‌های هارمونیک‌های قرار داده شده در مشخصه‌های هارمونیکی منابع هارمونیک (بارها، منابع تولید پراکنده یا مدل شبکه بالادستی) انجام می‌شود.

۵- خروجی‌های مطالعه هارمونیکی سیستم در این قسمت ذخیره می‌شود.

۶- تنظیمات مربوط پخش بار در این قسمت قرار دارد.

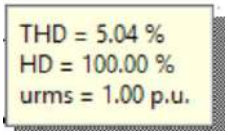
۷- فرکانس مرجع یا پایه سیستم در این قسمت مشخص می‌شود.

۸- فرکانسی که در صورت انتخاب گزینه ۳ در آن پخش بار هارمونیکی انجام می‌شود.

۹- شماره این فرکانس مشخص می‌شود. در واقع گزینه‌های ۸ و ۹ یکی هستند و تنظیم یکی از آنها کافی است.

۶-۹- نحوه جمع‌آوری اطلاعات خروجی

پس از اجرای برنامه پخش بار هارمونیکی می‌توان برخی خروجی‌ها مانند THD را در مدل پیاده‌سازی شده همانند شکل (۶-۴) مشاهده نمود.

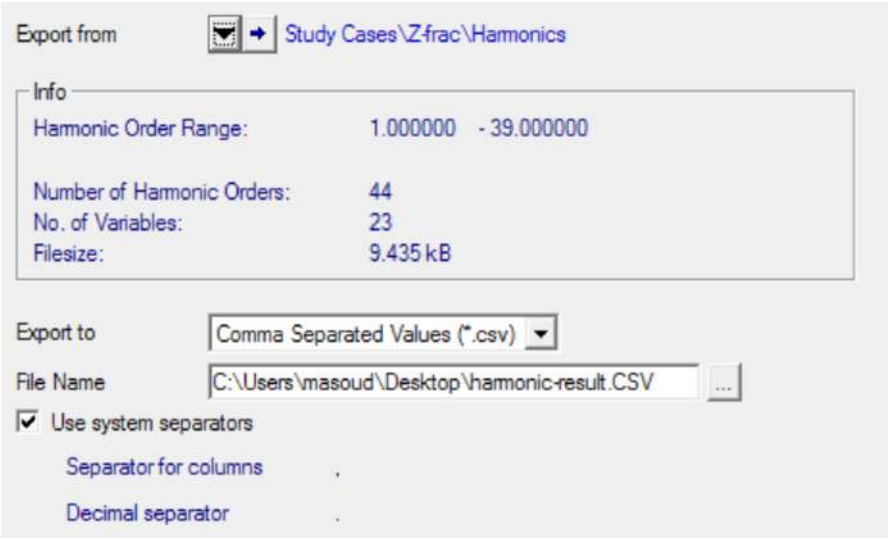


شکل (۶-۴): خروجی مطالعات هارمونیکی نرم‌افزار در محیط گرافیکی

اما همانطور که در جداول حدود مجاز گفته شد لازم است که علاوه بر مقدار مجموع هارمونیک‌ها مقادیر تکی آنها نیز مورد بررسی قرار بگیرد. برای این امر لازم است پس از اجرای برنامه پخش بار هارمونیکی وارد مکان ثبت داده‌های خروجی قسمت ۵ شکل (۶-۳) وارد شده و سپس طبق فرآیند زیر اقدام شود:

شکل (۶-۵): اطلاعات ذخیره شده در نرم افزار از محاسبات هارمونیکی و کیفیت توان

در این قسمت خروجی‌های پخش بار هارمونیکی قرار گرفته‌اند. با انتخاب گزینه Export می‌توان وارد پنجره زیر شده و با انتخاب یکی از فرمت‌های گرفتن خروجی از نرم‌افزار (برای مثال CSV[1]) را انتخاب نموده و خروجی‌های نظیر جدول در دسترس قرار می‌گیرد.



شکل (۶-۶): تنظیمات استخراج نتیجه مطالعات کیفیت توان از نرم‌افزار

[1] Comma-separated value

جدول (۶-۶): اطلاعات خروجی از نرم‌افزار برای یک سیستم نمونه

Related Harmonics	Harmonics	Capacitor Bank	LV 1.1	LV 1.2
Rated Frequency	Frequency in Hz	u_L in p.u.	Harmonic Distortion in %	Harmonic Distortion in %
1	50	0.951939	100	100
1.5	75	0.000076	0.015488	0.015628
2	100	0.00228	0.274966	0.275923
2.5	125	0.000139	0.02815	0.028391
3	150	0.001409	0.226445	0.227751
3.5	175	0.000297	0.059405	0.059902
4	200	0.028196	3.02129	3.028193
4.5	225	0.000757	0.149692	0.150925
5	250	0.031181	3.370075	3.378385

در این جدول مقادیر نسبی و مطلق هارمونیک‌ها برای یک بانک خازنی و دو باس ولتاژ ضعیف به نمایش در آمده است.لازم به ذکر است که نرم‌افزار قابلیت محاسبه TDD را ندارد و می‌توان با استفاده از داده‌های خروجی آن را محاسبه نمود.

۶-۱۰- بررسی نتایج

پس از گرفتن نتایج خروجی، لازم است این اطلاعات را از جهت وجود داده‌های غیر منطقی بررسی شده و در صورت وجود هر گونه موردی، بررسی‌های عمیق‌تری برای پیداکردن خطای منجر به ایجاد این داده را انجام داد.

پس از اطمینان از صحت داده‌ها لازم است مقادیر خروجی را با مقادیر استاندارد مقایسه نمود. بهتر است برای اطمینان بیشتر این مطالعات در انواع حالت‌های بهره‌برداری نظیر کم باری و پرباری، حالتهای کاری منبع تولید پراکنده و همینطور ساختارهای مختلف سیستم انجام گیرد.

پس از مقایسه خروجی‌های مورد نظر با محدودیت‌های ارائه شده می‌توان تشخیص داد که آیا اضافه شدن یک منبع تولید پراکنده به شبکه باعث خارج شدن هارمونیک‌ها از محدوده مورد نظر شده است یا خیر. در صورت عدم تجاوز مقادیر هارمونیک‌ها طرح اتصال مولد مذکور از نظر مطالعات هارمونیکی مشکلی ندارد. در غیر این صورت لازم است اقدامات تصحیحی مانند تعویض نوع مولد یا تغییر برخی از تجهیزات شبکه با اطلاع هر دو طرف مالک مولد و شرکت برق مربوطه انجام شود.

۶-۱۱- نتیجه‌گیری

مطالعات هامونیکی و کیفیت توان از نقطه نظر اینکه با رضایتمندی مشترکین ارتباط مستقیمی دارد حائز اهمیت می‌باشد. اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه می‌تواند هارمونیک‌های ولتاژی و جریانی شبکه را از محدوده مجاز خارج کند. در این فصل به بیان اهمیت کیفیت توان و هامونیک‌ها، مقادیر مجاز آنها و همین طور نحوه انجام مطالعات هارمونیکی در نرم‌افزار پرداخته شده است.

فصل هفتم

مطالعات هماهنگی حفاظتی

۷-۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مطالعات که لازم است جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه انجام شود، مطالعات هماهنگی حفاظتی است. مولدهای تولید پراکنده به منظور افزایش ظرفیت تولید شبکه و نیز تامین نیازهایی از قبیل تغذیه بارهای محلی مورد استفاده قرار می‌گیرند، لذا می‌توانند تاثیرات خوبی در شبکه بر جای گذاشته و موجب آزاد شدن بخشی از ظرفیت شبکه سراسری شوند که لازمه آن، فراهم شدن شرایط مناسب و استاندارد به منظور مشارکت آن‌ها در شبکه است. یکی از مهم‌ترین نیازمندی‌ها برای اتصال DG به شبکه سراسری، نیازمندی‌های حفاظتی مربوط به آن است. این نیازمندی‌ها شامل بررسی استفاده از انواع رله‌ها و تنظیمات آنها از قبیل تنظیمات زمانی و نیز استفاده از سایر تجهیزات حفاظتی از قبیل فیوزها، بریکرها و غیره می‌باشد. البته وجود مولدهای تولید پراکنده موجب برخی مشکلات در سیستم‌های حفاظتی متداول شبکه از قبیل کاهش حساسیت رله‌های ابتدای فیدرها، ناهماهنگی حفاظتی رله‌های سایر فیدرها و نیز مشکلاتی از قبیل اختلال در عملکرد رله بازبست (ریکلوزر) می‌گردد که در این فصل به آن‌ها خواهیم پرداخت.

۷-۲- اهداف

هدف از مطالعات مربوط به هماهنگی حفاظتی، بررسی و طراحی یک سیستم حفاظتی مناسب است به طوری‌که در هنگام وقوع خطا در شبکه توزیع یا در سمت مولد (DG) از قبیل فیدر خروجی مولد یا فیدرهایی دیگر، عملکرد مناسب و سریعی داشته باشد. وقوع خطاهای در شبکه می‌تواند منجر به عبور جریان زیادی از مولد شده و لذا خطراتی از قبیل آسیب رسیدن به ورقه های استاتور ژنراتور، داغ شدن بیش از حد مولد و نیز آتش‌سوزی در مولد را به همراه داشته باشد. از جمله مواردی که بر روی شدت خطا تاثیر گذار بوده و ممکن است موجب عملکرد نامناسب رله‌ها گردند، نوع خطا، محل وقوع خطا و نیز زمان وقوع خطا می‌باشند. محل وقوع خطا ممکن است در سیستم داخلی مولد تولید پراکنده، فیدر خروجی مولد، فیدرهای دیگر خروجی فاقد مولد و یا در شبکه توزیع یا فوق توزیع بالادست باشد. رله‌های مورد استفاده در طراحی سیستم حفاظتی می‌توانند رله‌هایی از نوع جریانی، ولتاژی و نیز فرکانسی باشند. تنظیمات این رله‌ها از قبیل تنظیم زمانی آن‌ها، اهمیت بسیار زیادی در شناسایی و رفع سریع‌تر خطا و در نتیجه کاهش آسیب احتمالی به تجهیزات و مولد را دارد. در این بخش ابتدا حالات مختلف و محتمل وقوع خطا بررسی شده و سپس توضیحات مربوط به نحوه انجام مطالعات هماهنگی حفاظتی در نرم‌افزار DIgSILENT بیان شده است.

۷-۳- دلایل پیچیدگی حفاظت

وجود مولدهای تولید پراکنده ممکن است موجب برخی اختلال‌ها و ناهماهنگی در سیستم حفاظتی موجود در شبکه گردد. برخی از دلایلی که موجب پیچیدگی در عملکرد سیستم‌های حفاظتی شبکه در هنگام وجود منابع تولید پراکنده می‌باشند، عبارتند از:

۱) تغییر تعداد منابع تولید پراکنده متصل به شبکه توزیع در زمان‌های مختلف بهره‌برداری.
۲) امکان تغییر مد کنترلی منابع تولید پراکنده و تغییر سهم هر مولد در تامین جریان خطا.
۳) متغیر بودن ساختار شبکه توزیع به دلیل وجود نقاط مانور متعدد.
۴) محدود بودن جریان اتصال کوتاه در صورت بهره‌برداری به صورت جزیره‌ای.
۵) محدودیت‌های به‌کارگیری روش‌های پیچیده حفاظتی نظیر رله دیستانس به دلایل اقتصادی.
۶) عدم وجود زیرساخت مخابراتی مناسب در اغلب شبکه‌های توزیع دنیا و در نتیجه محدودیت‌های استفاده از روش‌های سریع و بعضا زمان واقعی مخابراتی برای کمک به سیستم حفاظتی به دلایل اقتصادی.
۷) تغذیه فیدرهای توزیع از چند سو.

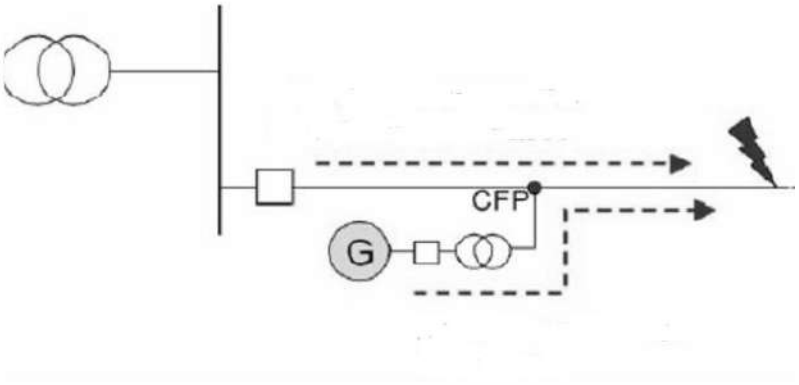
لذا به دلیل وجود این پیچیدگی‌ها در شبکه شامل DG، میبایستی سیستم‌های حفاظتی موجود در شبکه بازبینی شده و در صورت لزوم تغییر داده شوند.

۷-۴- تاثیر منبع تولید پراکنده بر حفاظت شبکه توزیع

همان‌گونه که بیان شد وجود مولد تولید پراکنده در شبکه ممکن است عملکرد سیستم حفاظتی شبکه توزیع را مختل کند. این عمل ممکن است به دلیل تاثیر مولد بر روی حساسیت رله‌های موجود در شبکه توزیع و یا رله‌های بالادست یا پایین دست بوده و موجب اختلال در عملکرد مناسب این رله‌ها گردد، لذا در این بخش سعی می‌شود که مشکلات متداول در یک شبکه توزیع شامل منبع تولید پراکنده که ممکن است عملکرد سیستم حفاظتی را دچار مشکل سازد بیان گردد.

۷-۴-۱- کاهش حساسیت رله بالادستی – خطا در شبکه پایین دست

یکی از خطاهای محتمل در شبکه توزیع شامل مولد تولید پراکنده، وقوع خطا در شبکه پایین دست مولد است که در شکل (۷-۱) نمایش داده شده است:



شکل (۷-۱): خطا در شبکه پایین دست مولد DG

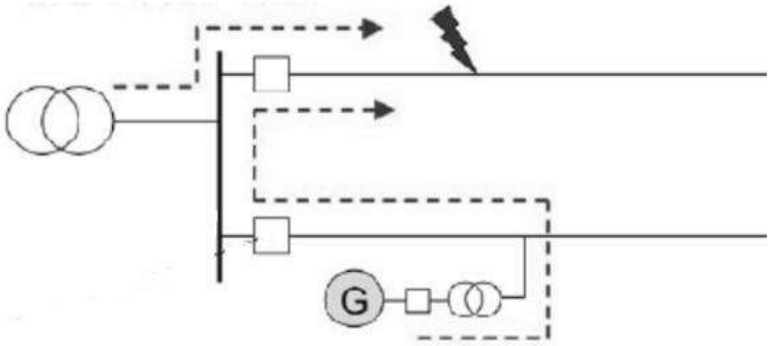
در این حالت به دلیل کاهش جریان خطای عبوری از رله‌های بالادستی در حضور DG، زمان عملکرد آنها افزایش می‌یابد، لذا میبایستی بین رله‌های بالادستی و رله جریان زیاد موجود در PCC (محل اتصال مولد به فیدر) هماهنگی حفاظتی برقرار گردد.

مشکل دیگری که در این حالت ایجاد می‌شود، کاهش ناحیه قابل دسترس رله جریان زیاد (OC) در شبکه بالادست است. البته این مشکل زمانی که مقاومت محل خطا زیاد باشد بیشتر خود را نشان می-دهد. شکل (۷-۲) این مشکل را بیان می‌کند:

شکل (۷-۲): کاهش ناحیه قابل دسترس رله بالادست در حضور مولد DG

۷-۴-۲- ناهماهنگی حفاظتی و عملکرد اشتباه رله DG Back Feed

یکی از مشکلاتی که به هنگام وجود مولد تولید پراکنده در شبکه توزیع ممکن است رخ دهد، عملکرد اشتباه رله جریان زیاد موجود در ابتدای فیدر اصلی شامل مولد پراکنده(DG Back Feed) است که در شکل (۷-۳) نشان داده شده است:



شکل (۷-۳): عملکرد نادرست رله جریان زیاد ابتدای فیدر مولد (DG Back Feed)

زمانی که خطا در یک فیدر دیگر که شامل مولد نیست رخ می‌دهد، به دلیل اینکه مولد نیز در میزان جریان خطا مشارکت دارد، بخشی از جریان خطا از رله موجود در ابتدای فیدر اصلی شامل مولد گذشته و بنابراین موجب عملکرد نابجای این رله می‌گردد و در نتیجه هماهنگی حفاظتی مابین رله‌های موجود از بین می‌رود، زیرا به ازای وقوع خطا در فیدر فاقد مولد، نباید رله مربوط به ابتدای فیدر اصلی شامل مولد عمل کند. این‌کار باعث خروج ناخواسته مولد از شبکه سراسری می‌گردد. این خروج ناخواسته مولد از شبکه سراسری گاه اوقات مشکلات جدی را به همراه دارد. مثلا اگر مولد از نوع CHP باشد، خروج آن ممکن است منجر به توقف فعالیت آن به مدت چند ساعت تا چند روز گردد لذا میبایستی تنظیم زمانی مربوط به این رله را افزایش داد. تمایز زمانی مابین رله ابتدای فیدر مولد و رله فیدر خطا، میبایستی حداقل ۲۰۰ میلی ثانیه باشد. به منظور جلوگیری از این ناهماهنگی، روش‌های زیر پیشنهاد می‌گردد:

الف) به کارگیری روش حفاظت منطقی

ب) کاهش سهم مشارکت مولد در جریان خطای فاز به زمین شبکه

ج) استفاده از رله جریان زیاد جهت دار در ابتدای فیدر دارای مولد که در این حالت لازم است سه عدد PT فاز به زمین در فیدر مربوطه نصب گردد.

د) افزایش TMS رله جریان زیاد فیدر دارای مولد به منظور حفظ تمایز زمانی کافی با رله فیدر شامل خطا (این روش زمانی کارایی دارد که فقط به یک فیدر، مولد با ظرفیت بالا (مثلا ۴ مگاولت آمپر) متصل باشد.)

مشکل دیگری که در این حالت ایجاد می‌شود امکان سوختن نابجای فیوز در فیدر مولد است. در صورتی که بین ابتدای فیدر خروجی و مولد، از فیوز استفاده شود، در اثر خطا در یکی از فیدرهای خروجی دیگر، ممکن است جریان تامین شده توسط مولد باعث سوختن نابجای فیوز شود. سوختن یکی از فازهای فیوز مربوطه باعث عدم تعادل جریان عبوری شده و لذا تاثیر منفی بر روی عملکرد مولد خواهد داشت. برای حل این مشکل بهتر است که فیوز مربوطه، از فیدر حذف گردد.

مشکل دیگری که در این حالت به وجود می‌آید عملکرد اشتباه نشانگر خطا است. در صورتی که بین ابتدای فیدر خروجی و مولد DG متصل به آن، از نشانگر خطا استفاده شده باشد ممکن است به ازای خطای اتصال کوتاه در هر یک از فیدرهای خروجی در پست فوق توزیع، نشانگر خطا به اشتباه عمل نماید. برای حل این مشکل می‌توان از روش‌های زیر استفاده کرد:

الف) از نشانگر خطای جهت دار استفاده شود.

ب) در صورت کم بودن جریان خطای عبوری از مولد نسبت به جریان خطای عبوری از شبکه بالادست، می‌توان نشانگر خطا را به نحوی تنظیم یا انتخاب کرد که به ازای خطا در سایر فیدرهای خروجی، نشانگر خطا عمل نکند.

۷-۴-۳- مشکلات مرتبط با رله وصل مجدد (Recloser)

یکی دیگر از مشکلاتی که به علت وجود مولد تولید پراکنده در شبکه ممکن است اتفاق بیفتد، عملکرد نادرست رله‌های وصل مجدد(ریکلوزر) موجود در ابتدای فیدر مولد یا فیدرهای دیگر می‌باشد که به دلیل عدم هماهنگی این نوع رله با رله‌های دیگر موجود در شبکه ممکن است این رله‌ها عملکرد نادرستی داشته باشند.

۷-٤-۳-۱- وصل مجدد فیدر فشار متوسط متصل به مولد DG

مشکلاتی که در هنگام وصل مجدد در زمان خطا در فیدر متصل به مولد ایجاد می‌شود، عبارتند از:

۱) به دلیل تغذیه جریان عبوری از محل خطا توسط مولد، کانال خطا ممکن است از بین نرفته و لذا وصل مجدد با موفقیت صورت نمی‌پذیرد.

۲) در خطای فاز به زمین و با فرض ایزوله بودن زمین ترانسفورماتورهای واسطه، مشکل تغذیه محل خطا توسط مولد وجود ندارد، اما مشکلات زیر وجود دارد:

الف) اضافه ولتاژ در فازهای سالم نسبت به زمین ایجاد می‌شود.

ب) در زمان عملکرد جزیره‌ای مولد، فرکانس ناحیه جدا شده، ممکن است تغییر کند. لذا پس از وصل مجدد، در حالی مولد به شبکه بالادستی متصل می‌شود که شرایط سنکرونایزینگ برقرار نیست. در این حالت ممکن است مشکلاتی از قبیل آسیب رسیدن به ژنراتور و محرک اولیه (در ژنراتور سنکرون) اضافه ولتاژ گذرای شدید در لحظه وصل مجدد غیر سنکرون و در نتیجه آسیب به تجهیزات خازن و برقگیر و بارهای موجود و همچنین عبور جریان هجومی بزرگتر از حد متداول از موتورها و ترانسفورماتورها و در نتیجه آسیب دیدن آن‌ها ایجاد شود.

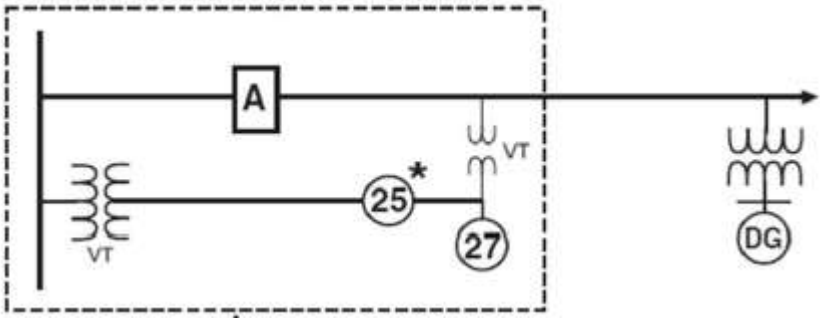
برای حل دو مشکل مذکور، استفاده از یکی از روش‌های زیر توصیه می‌گردد:

۱) مطابق استاندارد IEEE1547، قبل از انجام وصل مجدد در فیدر متصل به مولد، جزیره‌ای شدن مولد تشخیص داده شده و از شبکه جدا شود.

۲) با کمک رله سنکروچک و بررسی شرایط سنکرونایزینگ در کلید ابتدای فیدر خروجی مولد (یا استفاده از رله Zero Voltage) در صورت نیاز، از وصل مجدد و نابجای این فیدر در شرایطی که مولد در مدار بوده و شرایط سنکرونایزینگ برقرار نیست جلوگیری شود.

۳) در صورتی که در مدار بودن مولد اهمیت زیادی دارد، می‌توان از روش bus transfer استفاده کرد. یعنی برای اتصال مولد به شبکه بالادستی از دو فیدر فشار متوسط مجزا (ترجیحا مربوط به دو پست فوق توزیع مجاور) استفاده نموده و در صورت وقوع خطا در یکی از آنها، به سرعت باید مولد را به فیدر دوم متصل نمود.

در شکل (۷-۴) نحوه استفاده از رله Zero Voltage برای انجام وصل مجدد نمایش داده شده است:



شکل (۷-۴): رله Zero Voltage برای وصل مجدد فیدر

۷-٤-۳-۲- وصل مجدد فیدر خروجی فشار متوسط غیرمتصل به مولد DG

یکی دیگر از مشکلات مرتبط با وصل مجدد فیدر خروجی مولد، وصل مجدد ناموفق فیدرهای خروجی فاقد مولد است. مشکلاتی که در اثر این خطا ایجاد می‌شود عبارتند از:

۱) تغذیه محل خطا در اتصال کوتاه فاز به فاز یا سه فاز در سایر فیدرهای شبکه.

۲) نوسان توان اکتیو خروجی مولد و زاویه بار روتور تا مدتی پس از باز شدن کلید فیدر خروجی و رفع خطا در شبکه.

۳) کاهش زمان رفع خطای بحرانی در مولد پس از وصل مجدد سریع.

به منظور کاهش اثرات نامطلوب این بازبست می‌توان بین رله ریکلوزر فیدر خروجی فاقد مولد و رله های موجود در PCC یک هماهنگی حفاظتی برقرار کرد یا اینکه زمان بازبست مربوط به رله مورد نظر را افزایش داد.

۷-۴-۴- ایجاد ناپایداری گذرا در ژنراتورهای سنکرون متصل به شبکه

در بخش‌های قبلی بیان شد که ناپایداری گذرای ژنراتور سنکرون ممکن است در اثر وقوع خطای سه فاز نزدیک به ژنراتور ایجاد شود. ضمنا ناپایداری گذرا در منابع تولید پراکنده به دلایل زیر اهمیت بیشتری نسبت به وقوع این پدیده در ژنراتورهای بزرگ شبکه دارد:

۱) نه تنها اینرسی منابع تولید پراکنده نسبت به توربوژنراتورهای بزرگ کمتر است، اینرسی پریونیت شده بر حسب توان نامی مولد (ثابت اینرسی H) نیز کوچک است. از این رو CCT منابع تولید پراکنده کمتر از توربوژنراتورهای بزرگ است.

۲) زمان رفع خطا به هنگام وقوع اتصال کوتاه در سایر فیدرهای فشار متوسط پست فوق توزیع به مراتب کمتر از زمان رفع خطا در شبکه‌های فشار قوی است.

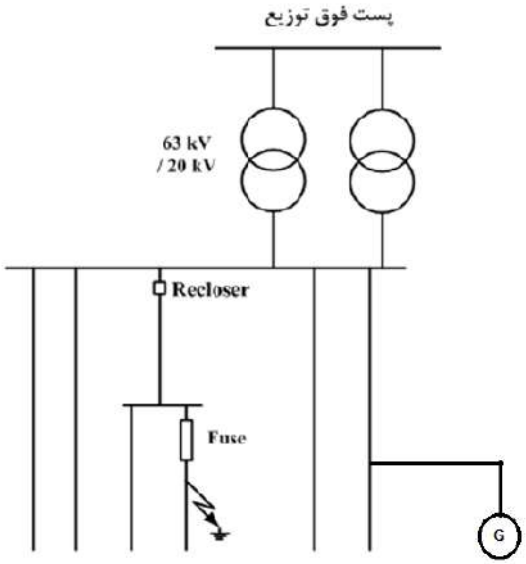
۳) تعداد اتصال کوتاه سه فازی که یک ژنراتور تولید پراکنده با آن مواجه می‌شود و خطر ناپایداری گذرا را به همراه دارد، به مراتب بیشتر از تعداد آن در ژنراتورهای بزرگ شبکه فشار قوی است.

۷-۴-۵- تاثیر نامطلوب بر حفاظت جریان زیاد جهتی در فیدر ورودی

در برخی پست‌های فوق توزیع، برای تشخیص سریع خطای داخل ترانسفورماتور از رله جریان زیاد جهتی (به سمت ترانسفورماتور فوق توزیع) در فیدر ورودی استفاده شده است. ممکن است به هنگام وقوع خطا در خط ۶۳ کیلوولت و تامین بخشی از جریان خطا توسط مولد، رله جریان زیاد مذکور به اشتباه عمل نماید. لذا لازم است رله جریان زیاد جهتی مذکور به نحوی تنظیم شود که از عملکرد نابجای رله در این حالت جلوگیری شود.

۷-۴-۶- به هم خوردن منطق Fuse Saving

در فیدرهای هوایی که تعویض فیوز زمان‌بر است، می‌توان فیوز و تنظیم رله وصل مجدد را به نحوی انتخاب کرد که اول وصل مجدد انجام شود. رله وصل مجدد باید بر اساس حداکثر جریان بار و حداقل زمان عملکرد به نحوی تنظیم شود که به ازای جریان هجومی ترانسفورماتورها و جریان راه اندازی موتورها عملکرد نداشته باشد. فیوز به نحوی انتخاب می‌شود که مشخصه عملکرد آن، تمایز زمانی کافی را با مشخصه I-t ریکلوزر داشته باشد. در شکل (۷-۵) این منطق نشان داده شده است:



شکل (۷-۵): منطق Fuse Saving

رله وصل مجدد در Stage2 باید مشخصه I-t بالاتری نسبت به Stage1 داشته باشد تا در صورت موفق نبودن اولین وصل مجدد، فیوز بسوزد و وصل مجدد دوم، به دلیل رفع خطا ناشی از سوختن فیوز، موفق باشد.

مشخصه عملکرد فیوز شامل MMT و MCT بین مشخصه‌های I-t ریکلوزر در دو حالت Slow Stage و Fast Stage است. در اولین بار رخداد خطا، ریکلوزر عمل می‌کند و در صورت وجود خطای ماندگار، پس از وصل مجدد فیوز عمل می‌نماید. در این حالت میبایستی زمان عملکرد مشخصه Melting فیوز (MMT) بزرگتر یا مساوی ۱,۲۵ برابر زمان عملکرد Recloser Fast باشد. ضمنا زمان عملکرد Recloser Slow باید به اندازه کافی بزرگتر از زمان عملکرد مشخصه clearing فیوز (MCT) باشد.

در صورت اتصال مولد به فیدر خروجی، جریان عبوری از فیوز افزایش یافته و جریان عبوری از ریکلوزر کمتر می‌شود. لذا تمایز زمانی بین مشخصه عملکرد رله وصل مجدد و فیوز کاهش می‌یابد. برای حل این مشکل بایستی زمان عملکرد فیوز افزایش یابد که برای این منظور معمولا نیاز به انتخاب فیوز با جریان نامی بالاتر است. با این کار ممکن است فیوز قادر به عملکرد مناسب به ازای جریان خطای پایین نباشد. این مشکل زمانی تشدید می‌شود که مولد در مدار نباشد. زیرا در حالت خروج مولد، جریان خطای عبوری از فیوز کاهش می‌یابد و ممکن است فیوز اصلا عمل نکند یا با تاخیر بالا عمل نماید.

در صورت به‌کارگیری منطق Fuse Saving، لازم است تنظیم رله‌های جریان زیاد بالادستی به نحوی افزایش یابد که به هنگام عملکرد ریکلوزر در حالت Slow stage، عملکرد نابجا نداشته باشند. این نوع هماهنگی حفاظتی باعث افزایش قابل توجه زمان رفع خطا در باس‌بار فشار متوسط پست می‌گردد.

بنابراین توصیه می‌شود که استفاده از این منطق فقط زمانی انجام گیرد که زمان رفع خطا در شبکه بالادست با اجرای صحیح حفاظت منطقی به نحو موثری کاهش یافته است.

۷-۴-۷-امکان عدم عملکرد رله‌های حفاظتی موجود در شبکه توزیع در بهره‌برداری جزیره‌ای

در خطای سه فاز، جریان تامین شده توسط ژنراتورهای سنکرون و القایی سریعا میرا می‌شود و لذا ممکن است این جریان برای تشخیص خطا توسط رله‌های تاخیری یا فیوزها کافی نباشد. این مشکل در خطای فاز به فاز جدی‌تر است. با توجه به اتصال زمین ترانسفورماتور واسطه ممکن است نتوان به رخداد خطای فاز به زمین در شبکه جزیره‌ای توسط فیوز، رله جریان زیاد و حتی رله‌های EF (با تنظیمات متداول) پی برد. در واقع گاهی لازم است برای تشخیص این نوع خطا از رله‌های ولتاژی استفاده نمود که در شبکه های توزیع متداول کاربردی ندارند. گاهی فقط فیوزهای فشار متوسط موجود در شبکه قادر به عملکرد صحیح نیستند که به جای آن بهتر است از رله اضافه جریان و کلید قدرت استفاده شود.

۷-۵- رله‌های حفاظتی مورد نیاز در محل مشترک اتصال (PCC)

از آنجا که هر منبع تولید پراکنده یک منبع تامین جریان خطا تلقی می‌شود، لازم است در صورت رخداد خطا در شبکه، رله‌هایی بین مولد و شبکه بالادست استفاده شود تا با حفظ هماهنگی حفاظتی، در صورت لزوم ارتباط مولد را از شبکه قطع نماید. به این رله‌های حفاظتی، رله های محل مشترک اتصال (PCC) گفته می‌شود که وظیفه قطع کلید PCC و یا خروج کامل مولد را بر عهده دارند. خروج کامل مولد از مدار شامل قطع سریع کلید اصلی ژنراتور (GCB) و محرک اولیه ژنراتور است. رله‌های حفاظتی محل مشترک اتصال ممکن است بر اساس نمونه برداری از سیگنال های ولتاژ و جریان سمت اولیه یا ثانویه ترانسفورماتور واسطه (یا هر دو) استفاده نمایند. به منظور بهبود availability مولد، به هنگام وقوع خطا در شبکه، بایستی تا حد امکان مولد را در شبکه نگه داشت. البته این نیازمندی از میزان مشارکت مولد در جریان عبوری از محل خطا، ناپایداری مولد و شبکه، آسیب به تجهیزات مولد و شبکه، متاثر شده و در برخی شرایط، بایستی سریعا مولد را از شبکه خارج کرد.

۷-۵-۱-اهداف حفاظتی رله های به کار رفته در محل مشترک اتصال

به منظور رسیدن به مقاصد زیر، از رله‌های مختلفی در محل PCC استفاده می‌شود:

۱) تشخیص اتصال کوتاه در شبکه بالادست و ممانعت از تغذیه محل خطا

۲) تشخیص شرایط بهره برداری غیرعادی از مولد که می‌تواند باعث آسیب به مولد شود و در زمره نگرانی های مالک مولد می‌باشد. نظیر:

الف) اضافه ولتاژ

ب) اضافه تحریک

ج) عدم تعادل جریان و داغ شدن روتور

د) فرکانس نامناسب (احتمال ایجاد اضافه سرعت و یا رزونانس مکانیکی به دلیل کارکرد در مدهای نوسانی)

ه) تنش مکانیکی وارد بر شفت (مثلا ناشی از وصل مجدد در کلید شبکه توزیع)

۳) ممانعت از تاثیر نامطلوب مولد بر تجهیزات و مصرف کنندگان متصل به شبکه که از دغدغه های مسئول شبکه توزیع است که شامل موارد زیر است:

الف) تشخیص جزیره‌ای شدن مولد

ب) سنکرون کردن مجدد مولد با شبکه

ج) بهره برداری از مولد با ولتاژ و فرکانس نامطلوب یا با کیفیت توان نامناسب (به ویژه در حالت جزیره‌ای)

۷-۶- نیازمندی‌های هماهنگی رله‌های حفاظتی مولد و شبکه توزیع

به منظور رعایت هماهنگی میان رله‌های مولد DGو شبکه توزیع، رعایت نکات زیر الزامی است:

۱) در صورت وقوع خطا در نزدیکی مولدهای سنکرون، خطر ناپایداری گذرا وجود دارد. لذا باید مولد را قبل از بروز ناپایداری گذرا از شبکه خارج کرد. برای این منظور بایستی حداقل یکی از رله‌های حفاظتی محل مشترک اتصال یا رله‌های ژنراتور را با تنظیمات مناسب به‌کار برد (مانند رله Overspeed یا رله فرکانسی).

۲) در صورتی که وقوع خطا در شبکه و عملکرد رله‌های شبکه باعث شود که یک ریزشبکه جزیره‌ای ناخواسته ایجاد شود، لازم است که کلید PCC در مدت زمان حداکثر ۲ ثانیه باز شود.

۳) در صورتی که ولتاژ یا فرکانس خروجی مولد، انحراف زیادی از مقدار نامی داشته باشد، قبل از آسیب به مولد، تجهیزات شبکه و بارهای متصل به شبکه، لازم است مولد از مدار خارج شود.

۴) در صورت وقوع خطا در شبکه بالادست، نباید مولد به صورت نابه‌جا از مدار خارج شود. یعنی لازم است هماهنگی حفاظتی با رله‌های بالادست برقرار باشد. این هماهنگی به ویژه در مورد رله‌های جریانی در محل مشترک اتصال و محل مولد، لازم است.

۵) برای عدم تداخل در عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان هنگام وقوع خطا، باید فاصله زمانی مناسبی بین زمان عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان وجود داشته باشد. در یک سیستم حفاظتی، زمان عملکرد رله بایستی بگونه‌ای باشد که اولا" این زمان آنقدر بزرگ باشد که به هنگام وقوع یک خطا، نزدیکترین کلید به محل خطا ابتدا قطع نماید. ثانیا" آنقدر بزرگ نباشد که درصورت عدم عملکرد حفاظت اصلی حتی با قطع رله‌پشتیبان، سیستم آسیب جدی ببیند.

به منظور تحقق نیازمندی‌های هماهنگی بین رله‌های مولد و شبکه توزیع، نکات زیر باید رعایت گردند:

۱) حداقل یک رله حفاظتی وظیفه عملکرد مناسب پیش از بروز ناپایداری گذرا در مولد سنکرون را دارد (مثلا می‌توان از منطق ۳ از ۳ برای رله جریان زیاد یا رله ولتاژی یا رله دیستانس و یا رله توانی استفاده نمود).

۲) چند رله باید وظیفه تشخیص جزیره‌ای شدن را بر عهده داشته باشند. البته بایستی یک یا چند منطق مناسب برای تشخیص سریع این پدیده استفاده شود. در این‌صورت می‌توان زمان عملکرد سایر منطق‌ها را در صورت نیاز افزایش داد.

۳) در صورت بروز اضافه ولتاژ در سیستم برای جلوگیری از آسیب به بارهای الکتریکی، بایستی PCC و در صورت لزوم GCB قطع شوند.

۴) در صورت بروز کاهش ولتاژ یا تغییرات فرکانسی، معمولا قطع خیلی سریع نیاز نیست (مگر اینکه رله UV برای تشخیص جزیره‌ای شدن بکار رود) ولی در این شرایط نیز آسیب به بارهای الکتریکی و تجهیزات در بلند مدت محتمل است و باید از کارکرد شبکه در این شرایط جلوگیری کرد.

۵) سایر رله‌های حفاظتی (به ویژه رله‌های جریان زیاد و خطای زمین) باید با رله‌های موجود در شبکه توزیع هماهنگ شوند. لازم به ذکر است که هر رله جریانی باید با اولین رله قبل از خود هماهنگ شود.

۷-۷- قیود

- ❖ هماهنگی بین تجهیزات حفاظتی رعایت شود.
- ❖ تنظیمات تجهیزات حفاظتی به گونه‌ای باشد که به ازای خطاهای گوناگون و محل‌های مختلف خطا، دارای عملکرد صحیح و در زمان مناسب باشند.
- ❖ تنظیمات تجهیزات حفاظتی به گونه‌ای باشد که منجر به تریپ نابجا نشود.

- در خصوص منابع غیراینورتری، زمان عملکرد رله‌های حفاظتی متناسب با زمان بحرانی رفع خطا باشد.
- منحنی عملکرد رله‌ها حفاظتی متناسب با منحنی آسیب تجهیزات[1] متناظر باشد.

۷-۸- ورودی‌ها

- اطلاعات کامل تجهیزات شبکه (نوع و تنظیمات تجهیزات حفاظتی، اطلاعات ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ و ...)
- سناریوهای مختلفی که منجر به بدترین شرایط از لحاظ هماهنگی حفاظتی می‌شوند.
- ساختار شبکه تحت مطالعه در حالت‌های مختلف مانور در شبکه

۷-۹- خروجی‌ها

- زمان عملکرد رله‌ها
- مشخصات رله‌های انتخاب شده و تنظیمات آنها
- توالی عملکرد تجهیزات قطع‌کننده متناسب با زمان عملکرد رله مربوطه
- مشخصه عملکردی تجهیزات حفاظتی (در صفحه جریان-زمان و ...)
- منحنی هماهنگی حفاظتی بین تجهیزات حفاظتی

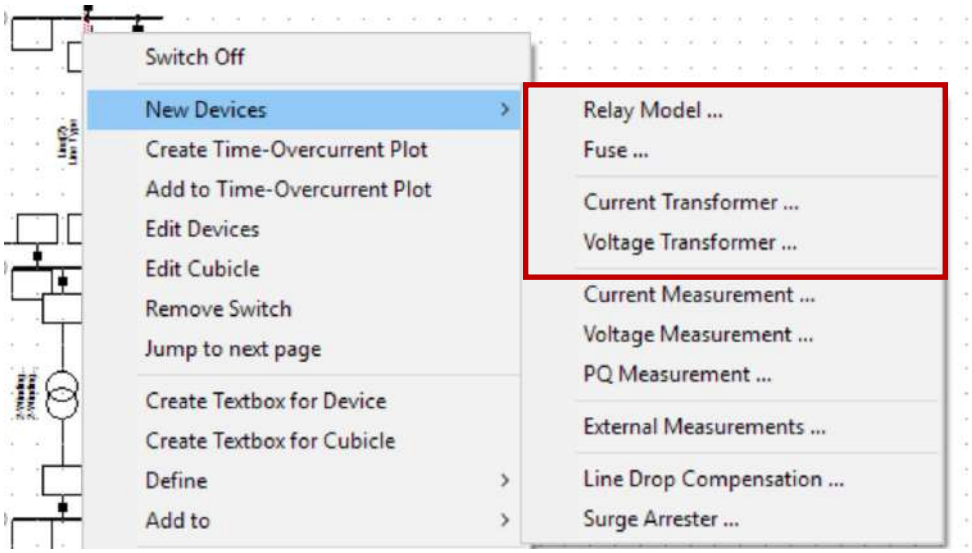
۷-۱۰- پیاده‌سازی نرم‌افزاری مطالعات هماهنگی حفاظتی

۷-۱۰-۱- روش‌های ایجاد ادوات حفاظتی

ابتدا لازم است برای مکان‌های از پیش در نظر گرفته شده مانند فیدرهای ورودی، خروجی، ترانس‌های پست فوق توزیع، ترانس‌های توزیع، محل اتصال مشترک، ترانس واسطه مولد و همین‌طور خود مولد ادوات حفاظتی مورد نظر ایجاد شود. در نرم‌افزار دیگسایلنت تمامی ادوات حفاظتی در کیوبیکل‌ها تعبیه می‌شود. برای این ایجاد این ادوات حفاظتی دو راه زیر وجود دارد.

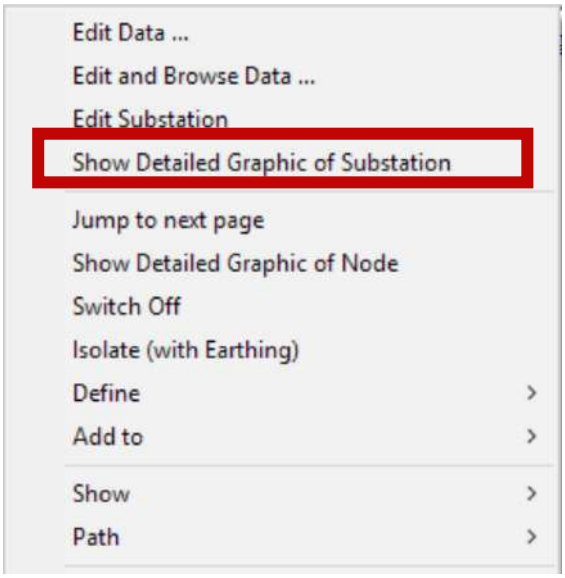
[1] Equipment damage curve

۱- همانند شکل زیر انتخاب کیوبیکل مورد نظر برای حفاظت و آوردن منو با کلید راست و انتخاب گزینه New Devices می‌توان تجهیزات حفاظتی از قبیل ماژول رله، فیوز و ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ را به کیوبیکل مورد نظر اضافه نمود.



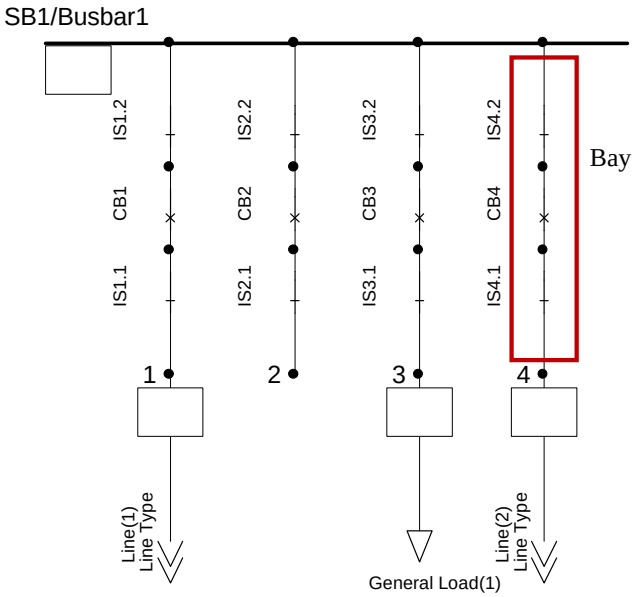
شکل (۷-۶): ایجاد تجهیزات حفاظتی از روش ۱

۲- روش دیگر این است که باس باری که کیوبیکل مورد نظر در آن وجود دارد انتخاب شده و سپس در منو موجود در شکل (۷-۷) با انتخاب گزینه Show Detailed Graphic of Substation وارد نمایش گرافیک باس بار مربوطه همانند شکل (۷-۸) می‌شویم[۱].



شکل (۷-۷): انتخاب نمایش جزئیه باس یا پست

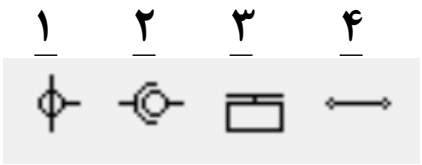
[۱] این امکان تنها برای نسخه‌های ۱۵ به بعد نرم‌افزار وجود دارد.



شکل (۷-۸): نمای با جزییات باس-پست

همانطور که مشخص است کلیدهای قدرت با اختصار CB[1] و سکسیونرهای در طرف هر کلید را با IS[2] نشان داده شده است. مجموع شاخه هر کلید قدرت و دو سکسیونر دو طرف آن را بی[3] می‌گویند که در شکل (۷-۸) به عنوان نمونه یک بی مشخص شده است.

حال می‌توان با تجهیزات منوی جانبی نرم‌افزار مطابق شکل (۷-۹) که شامل ماژول رله و ترانسفورماتور ولتاژ و جریان و متصل کننده، ابزارات حفاظتی را به شکل شی گرافیکی همانند شکل اضافه نمود. لازم به ذکر است که برای این روش گره یا نودهای سیستم باید به صورت باس بار مدل شوند و امکان استفاده از این روش برای ترمینال‌ها وجود ندارد. همینطور امکان ایجاد شی فیزیکی برای فیوز وجود ندارد و باید اینکار از طریق روش ۱ انجام گیرد.



شکل (۷-۹): جعبه ابزار تجهیزات حفاظتی

اجزای این قسمت از جعبه ابزار حفاظت بر اساس شکل ۴ شامل:

---

[1] Circuit Breaker

[2] Isolator

[3] Bay

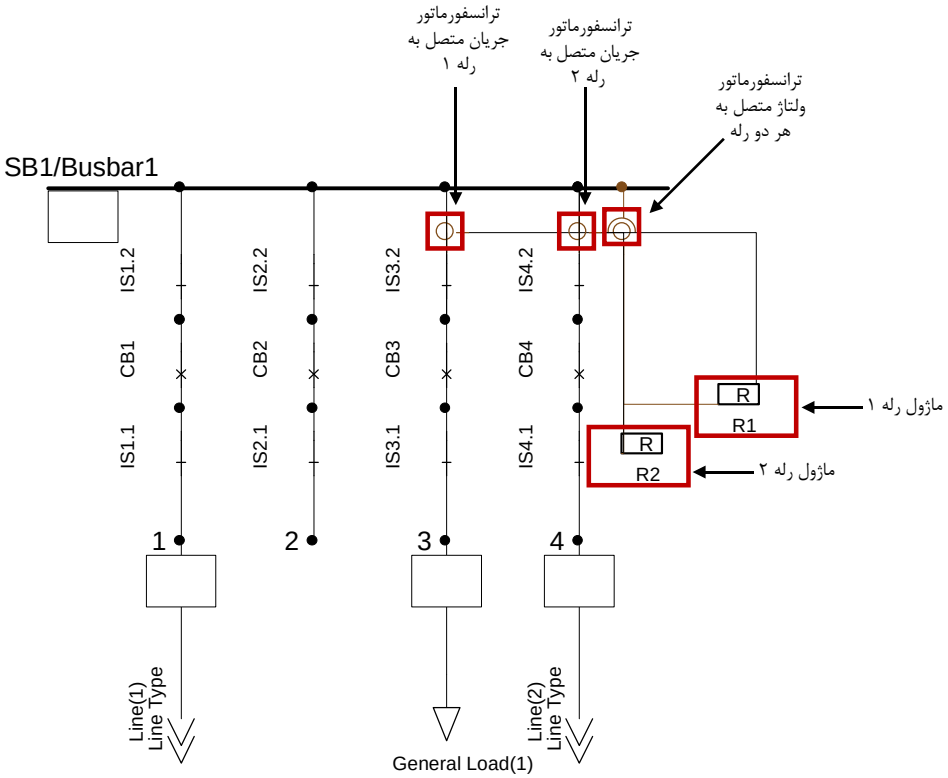
۱-ترانسفورماتور جریان

۲-ترانسفورماتور ولتاژ

۳-ماژول رله

۴- متصل کننده[۱]

روش اتصال این تجهیزات حفاظتی بدین صورت است که ترانسفورماتور جریان به صورت سری در بی-ها قرار گرفته و ترانسفورماتور ولتاژ دارای دو ترمینال اتصال بوده که یک ترمینال به باس بار و دیگری به ورودی ماژول رله متصل می‌شود. کاربرد تجهیز متصل کننده در مواقعی که لازم باشد از خروجی‌های ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان بیش از یک خروجی برای رله یا رله‌های دیگر گرفته شود، است. یک نمونه از طرح اتصال این تجهیزات در شکل (۷-۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۷-۱۰): قرار دادن تجهیزات حفاظتی به روش ۲

در ادامه به معرفی مشخصات و تنظیمات مربوطه هر تجهیز حفاظتی پرداخته می‌شود.

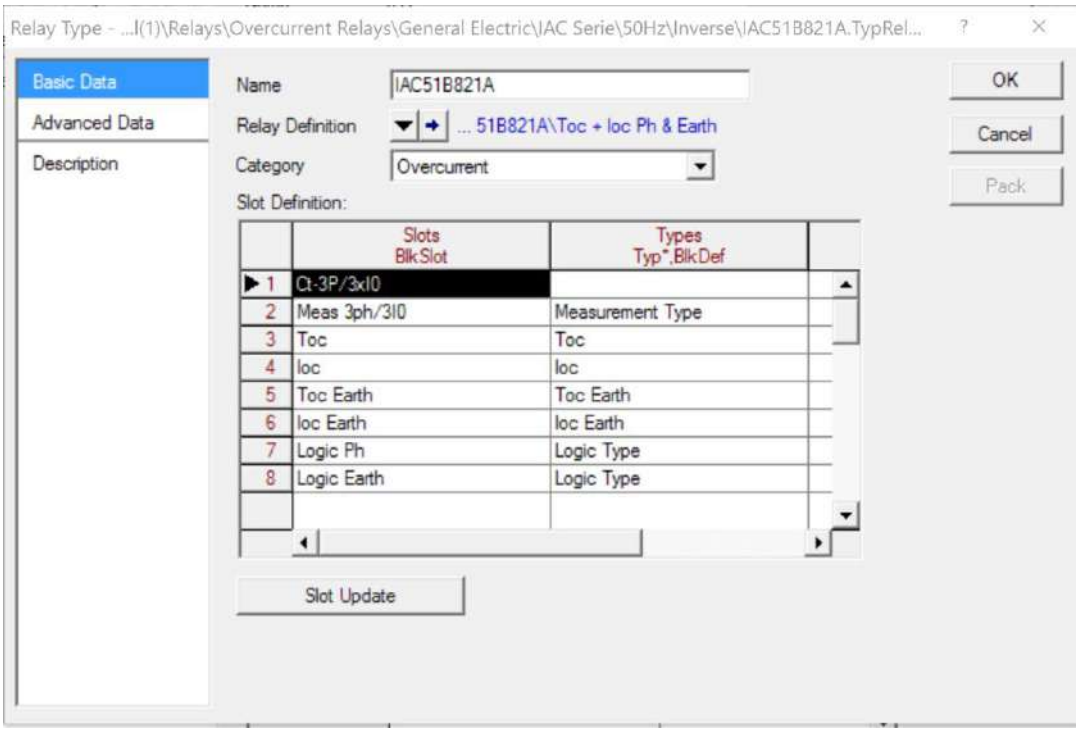
[۱] Connector

۷-۱۰-۲-مدل‌سازی رله

مدل‌سازی رله‌ها به صورت یک مدل کامپوزیت که از بخشهای مختلفی مانند شکل زیر تشکیل شده است می‌باشد. مانند دیگر تجهیزات معرفی شده در فصل ۲ این تجهیز نیز دارای دو بخش تایپ و المان می‌باشد. مشخصات ساختاری و ویژگی‌های داخلی هر بخش در قسمت تایپ آن مشخص شده و تنظیمات آنها در بخش المان انجام می‌شود.

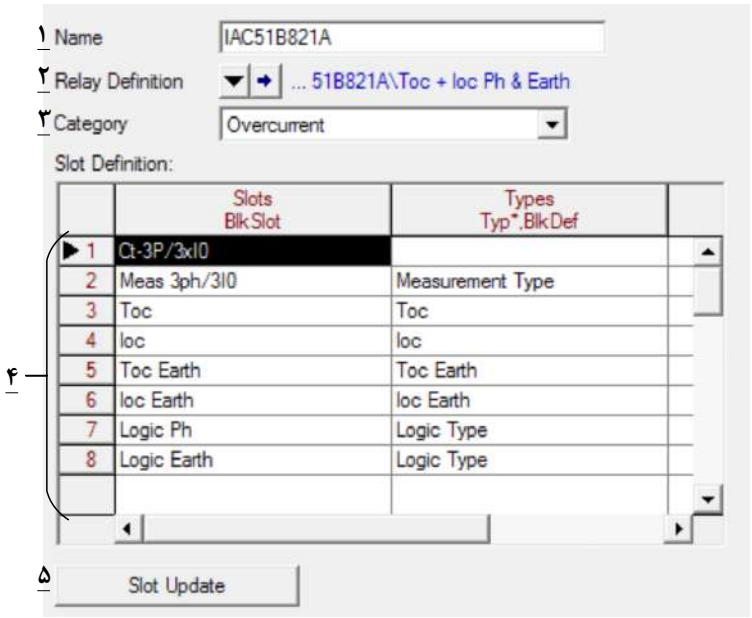
بخش تایپ

شکل کلی بخش تایپ ماژول رله در شکل (۷-۱۱) نشان داده شده است.



شکل (۷-۱۱): شکل کلی بخش تایپ ماژول

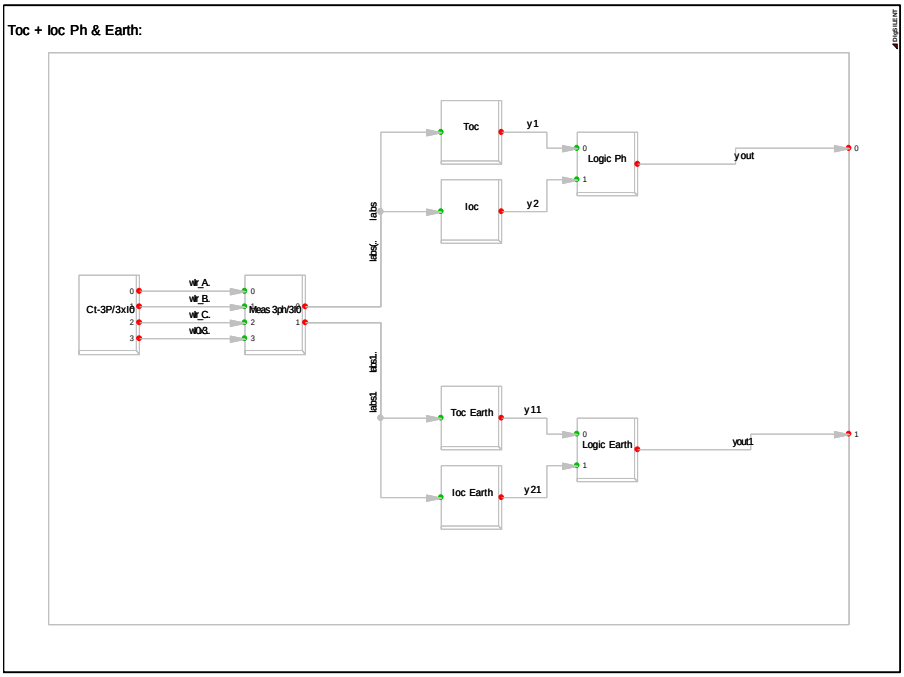
صفحه اطلاعات پایه



شکل (۷-۱۲): اطلاعات کلی بخش تایپ رله

۱- نام تایپ رله

۲- تعریف رله در این قسمت مشخص می‌شود. در واقع بخشهای موجود در رله هر کدام به شکل یک بلوک تعریف می‌شوند. برای مثال نمودار بلوکی رله استفاده شده که یکی از رله‌های اضافه جریان موجود در کتابخانه نرم‌افزار می‌باشد به شکل زیر است.



شکل (۷-۱۳): شکل بلوکی رله

همانطور که مشاهده می‌شود. ابتدا اطلاعات ورودی از ترانسفورماتور جریان وارد بلوک اندازه گیری شده و خروجی‌های مطلوب که در اینجا دامنه جریان‌های فاز و جریان مولفه صفر می‌باشد به ترتیب وارد بلوک‌های حفاظتی آنی و اضافه جریان فاز و زمین می‌شود. سپس خروجی این واحدها با منطق از پیش تعیین شده با هم ترکیب شده و خروجی آنها به عنوان خروجی نهایی رله شناخته می‌شود.

لازمه ایجاد تعاریف بلوک‌ها، آشنایی با بخش DSL نرم‌افزار می‌باشد. اما می‌توان تقریبا تمامی رله‌های متداول (االضافه جریان،اضافه جریان جهتی، ولتاژی، فرکانسی) را با استفاده از مدل‌های موجود در کتابخانه نرم‌افزار و با ایجاد تغییرات مطلوب در آنها ایجاد نمود و نیازی به تعریف بلوک‌های یک رله نمی-باشد.

۳- دسته بندی نوع رله (به عنوان رله اضافه جریان، ولتاژی) در این قسمت مشخص می‌شود.

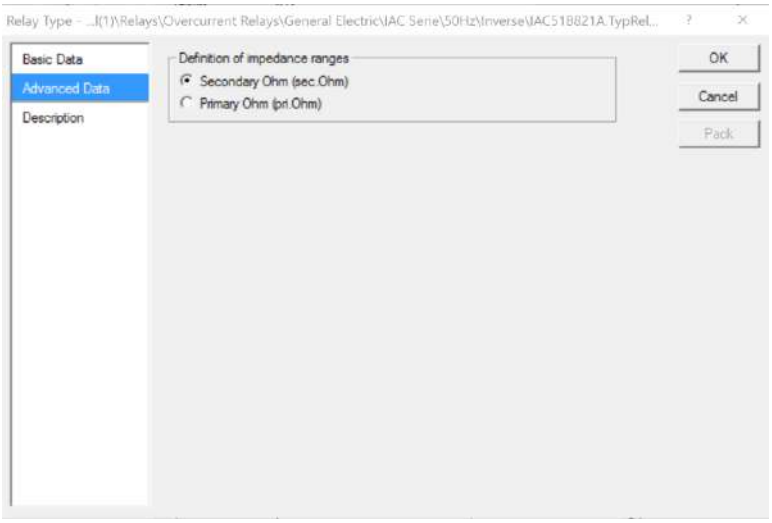
۴- در این قسمت مشخصات بخش‌های موجود در ماژول رله به نمایش در آمده است. این قسمت از دو ستون تشکیل شده است که ستون اول تنظیمات وجود بلوک است و ستون دوم تنظیمات ساختاری است که در واقع پیاده‌سازی مشخصات برگه اطلاعاتی[1] رله مورد نظر می‌باشد. در ادامه به بررسی اجزای این بخشها و تنظیمات مربوط به آنها پرداخته می‌شود.

۵- از این گزینه می‌توان بعد برای اعمال تغییرات ایجاد شده در بخش‌های ماژول رله استفاده کرد.

۷-۱۰-۳-صفحه تنظیمات پیشرفته

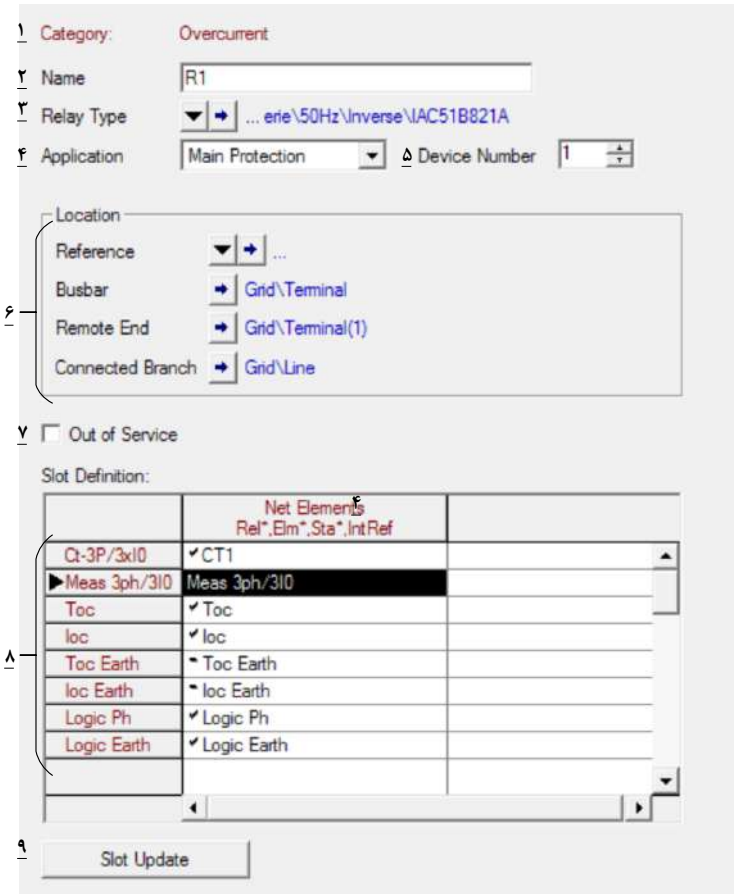
تنها تنظیم موجود در این قسمت، مشخص کردن مرجع تعریف امپدانس بر حسب مقادیر اولیه و ثانویه همانند شکل زیر می‌باشد. البته در اینجا به دلیل نبود ترانسفورماتور ولتاژ این مقادیر برابر یک هستند. با توجه به اینکه رله‌های امپدانسی نقشی در سیستم حفاظت شبکه‌های توزیع ندارد، انتخاب این گزینه تاثیری بر عملکرد رله نخواهد داشت.

[1] Datasheet



شکل (۷-۱۴): اطلاعات کلی بخش تایپ رله

تنظیمات بخش المان



شکل (۷-۱۵): تنظیمات بخش المان رله

۱- نوع رله که در بخش تایپ مشخص شده در این قسمت نمایش داده شده است.

۲- نام انتخابی برای رله

۳- در اینجا تایپ رله که توضیح آن قبلا ارائه شده است، انتخاب یا ایجاد می‌شود.

۴- در این قسمت نوع عملکرد رله از نظر حفاظت اصلی یا پشتیبان مشخص می‌شود.

۵- در این قسمت یک عدد به تجهیز نسبت داده می‌شود. البته این قسمت تاثیری بر مطالعات ندارد.

۶- در این قسمت مکان نصب رله مشخص می‌شود که شامل باس محل نصب رله،باس انتهای خط و همین طور خط یا تجهیز (شاخه) است.

۷- با انتخاب این گزینه، رله از مدار خارج خواهد شد.

۸- بخش‌های مشخص شده در قسمت تایپ در این قسمت ظاهر شده و در اینجا می‌توان تنظیمات بهره‌برداری برای رسیدن به یک هماهنگی مناسب انجام داد.

۹- همانند قسمت تایپ دراینجا نیز می‌توان بعد از تغییرات ایجاد شده در مشخصات بخش‌ها با انتخاب این گزینه تغییرات را اعمل نمود. لازم به ذکر است که بخش‌های مربوط به انتخاب ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان به دلیل اینکه انتخاب آنها جزو مطالعات هماهنگی عایقی هستند، تغییرات لازم برای آنها در بخش المان انجام خواهد شد.

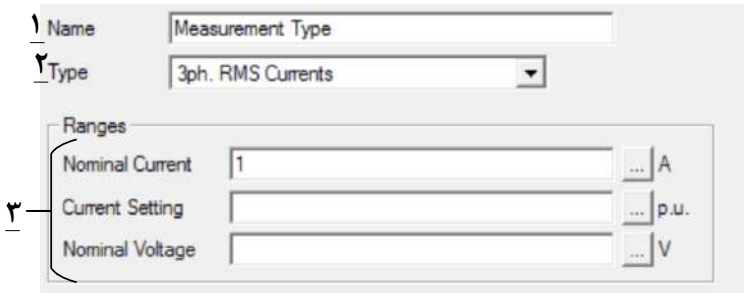
۷-۱۰-۴-مشخصات اجزای رله IAC 51B21A

این رله به عنوان یک رله متداول حفاظت اضافه جریان در نظر گرفته می‌شود. ماژول‌های توضیح داده شده در این رله اکثر رله‌های اضافه جریان وجود دارند.

۷-۱۰-۵-ماژول اندازه گیری

این ماژول که وظیفه تبدیل مشخصات اندازه‌گیری شده توسط ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان به داده‌های مطلوب دیگر واحدهای حفاظتی را دارد.

بخش تایپ

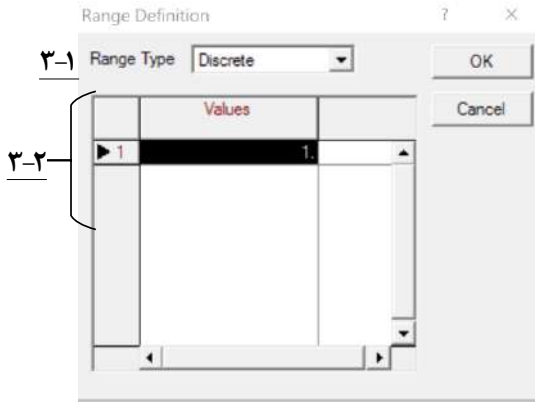


شکل (۷-۱۶): اتنظیمات بخش تایپ ماژول اندازه‌گیری

۱- نام تایپ ماژول اندازه گیری

۲- در این قسمت نوع خروجی واحد اندازه گیری برای استفاده در دیگر قسمت‌ها مشخص می‌شود. این خروجی بنا بر نیاز دیگر واحدها می‌تواند مقادیر موثر جریان، مقادیر توالی‌های جریان و ولتاژ و دیگر شکل‌های خروجی موجود را تامین کند.

۳- محدوده جریان نامی، محدوده تنظیم جریانی و ولتاژ نامی در این قسمت مشخص می‌شود. می‌توان با انتخاب گزینه کنار هر قسمت وارد صفحه ورود اطلاعات زیر شد.



شکل (۷-۱۷): محدوده تنظیم رنج جریان نامی

۳-۱- نوع ورودی محدوده مورد نظر که می‌تواند گسسته[۱]، پله‌ای[۲] و پیوسته[۳] باشد.

۳-۲- مقادیر در این قسمت وارد می‌شود که بنا بر نوع انتخاب ورود داده‌ها متفاوت است.

بخش المان

شکل (۷-۱۸): بخش المان ماژول اندازه گیری

همانطور که مشاهده می‌شود تنظیمی در این قسمت وجود ندارد.

---

[۱] Discrete

[۲] Stepped

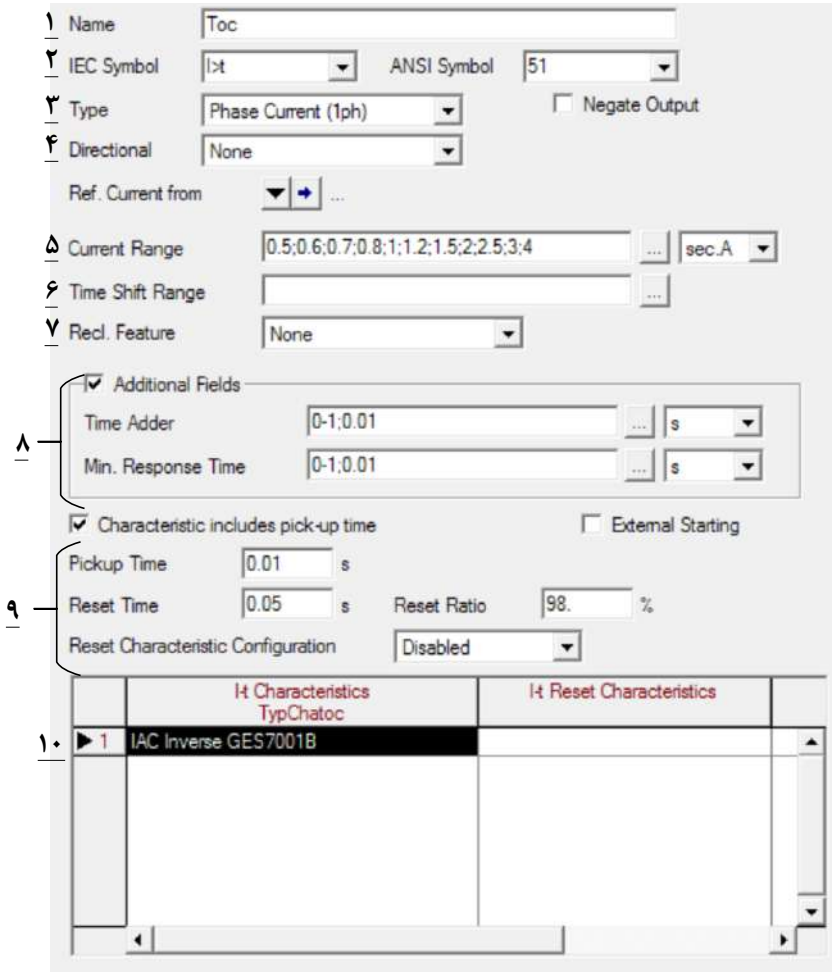
[۳] Continuous

۷-۱۰-۶-ماژول حفاظت اضافه جریان،۳ فاز و فاز به فاز به زمین

این ماژول وظیفه شناسایی خطاهای فاز به فاز و ارسال تریپ بر اساس منحنی عملکرد تعریف شده را دارد.

بخش تایپ

بخش تایپ ماژول حفاظت اضافه جریان در شکل (۷-۱۹) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۷-۱۹): بخش تایپ ماژول حفاظت اضافه جریان

۱- نام ماژول

۲- در این قسمت، سمبل واحد اضافه جریان استفاده شده از بین سمبل‌های انواع مختلف آن در دو استاندارد IEEE و IEC انتخاب می‌شود.

۳- نوع رله از جهت نوع ورودی (جریان تک فاز، سه فاز، جریان مولفه‌ها و فازهای مختلف) در این قسمت انتخاب می‌شود.

۴- انتخاب جهتی بودن یا غیر جهتی بودن و همینطور جهت رله در این قسمت مشخص می‌شود.

۵- محدوده جریانی قابل تنظیم در این قسمت مشخص می‌شود. در اینجا نیز می‌توان این محدوده را در سه حالت گسسته، پیوسته و پله‌ای وارد کرد همچنین مبنای این مقدار می‌تواند جریان ثانویه بر حسب آمپر و یا مقدار پریونیت خروجی واحد اندازه‌گیری باشد.

۶- همانند قسمت قبل در اینجا محدوده شیفت زمانی رله تنظیم می‌شود.

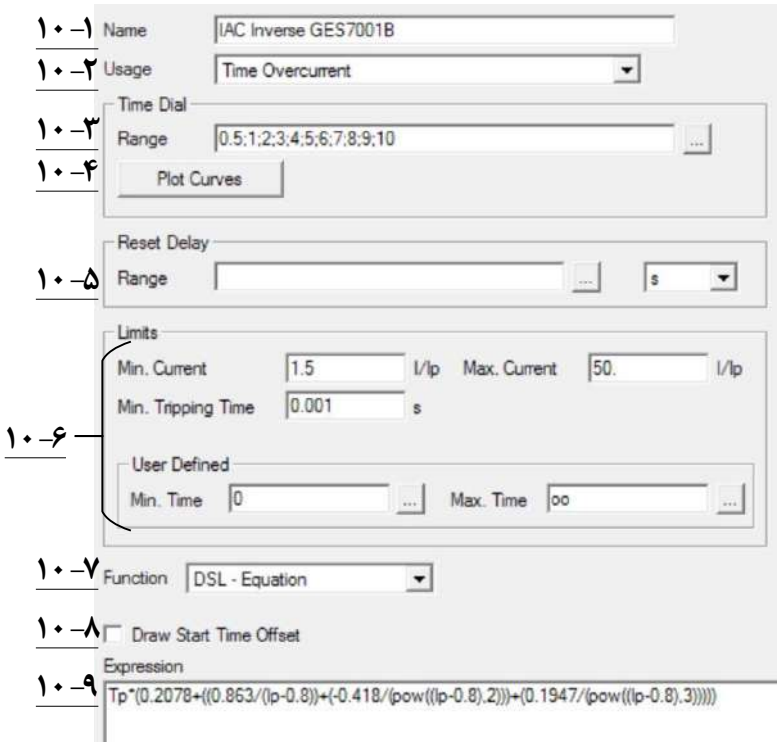
۷- در این قسمت تنظیم عدم وجود یا وجود ریکلوزر مشخص می‌شود.

۸- در صورت انتخاب گزینه مربوطه می‌توان ویژگی‌های زمانی را به رله اضافه کرد. بهتر است این گزینه غیر فعال باشد.

۹- در این قسمت تنظیمات مربوط به ریست[1] رله را وارد می‌شود.

۱۰- در این قسمت مشخصات منحنی‌های رله وارد می‌شود که می‌توان با انتخاب آن و اعمال گزینه Edit Element/Type وارد صفحه تنظیمات مربوط شد.

تنظیمات مشخصه جریان رمان رله اضافه جریان در نرم‌افزار در شکل (۷-۲۰) نشان داده شده است. در این قسمت داریم:



شکل (۷-۲۰): تنظیمات مشخصه جریانی زمانی رله اضافه جریان فاز به فاز

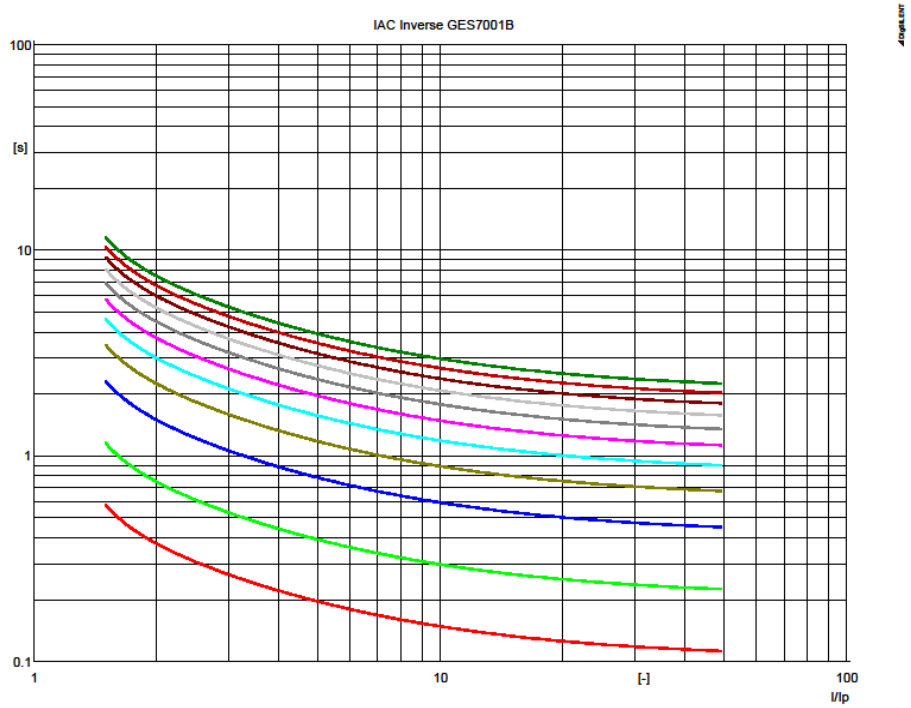
[1] Reset

۱۰-۱- نام مشخصه زمانی جریانی

۱۰-۲- در این قسمت انتخاب نوع استفاده‌ای که از منحنی تعریف شده است را مشخص می‌کند. این مشخصه می‌تواند برای منحنی جریان زمانی رله‌های اضافه جریان، منحنی عملکرد فیوز و غیره استفاده شود.

۱۰-۳- تنظیمات زمانی[1] منحنی که مشخصه جریانی زمانی آن را در راستای محور زمان جابه جا می-کند. نحوه ورود داده آنها نیز مانند محدوده جریانی در سه حالت گسسته، پیوسته و پله‌ای می‌باشد.

۱۰-۴- با انتخاب این گزینه می‌توان منحنی‌های جریان زمانی را بر حسب تنظیمات زمانی مختلف همانند شکل (۷-۲۱) مشاهده نمود.



شکل (۷-۲۱):دسته منحنی‌های مشخصه جریان-زمان رله اضافه جریان تاخیری

۱۰-۵- در این قسمت می‌توان یک محدوده تاخیر زمانی برای اضافه شدن به منحنی جریان زمان رله اضافه جریان اضافه نمود.

۱۰-۶- محدوده جریانی منحنی مشخصه، حداقل زمان تریپ و محدوده زمانی برای رله (در صورت تعریف شدن توسط کاربر) را می‌توان در این قسمت مشخص کرد.

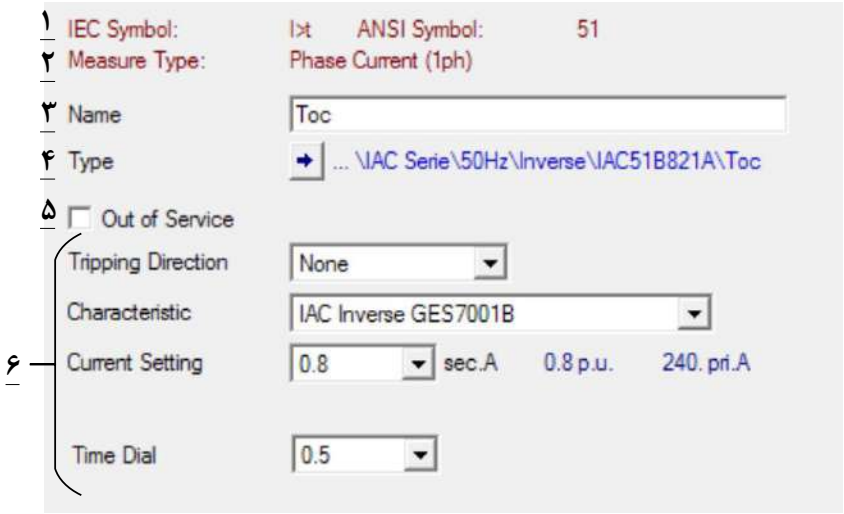
[1] Time Dial

۱۰-۷-در این قسمت مبنای فرومولاسیون رابطه مشخصه جریان-زمان مشخص شده است. روش ایجاد این رابطه می‌تواند بر اساس استانداردهای مختلف باشد و کاربر بنا بر برگه اطلاعاتی رله یکی از این موارد را انتخاب کند.

۱۰-۸-این گزینه مربوط به در نظر گرفتن آفست[۱] اولیه شروع به کار رله می‌باشد.

۱۰-۹-رابطه منحنی جریان-زمان رله در این قسمت قابل تنظیم می‌باشد. نوع ورود این اطلاعات نیز وابسته به نحوه فرمولاسیون انتخابی در قسمت ۷-۱۰ است.

بخش المان



شکل (۷-۲۲): بخش المان ماژول اضافه جریان فاز

۱- نشانه‌های انتخاب شده بر دو استاندارد IEEE و IEC در این قسمت نشان داده شده است.

۲- نوع سیستم اندازه‌گیری مشخص شده در بخش تایپ

۳- نام انتخابی برای این رله

۴- در این قسمت می‌توان وارد بخش تایپ شد.

۵- با انتخاب این گزینه این ماژول حفاظتی از تمامی مطالعات و شبیه‌سازی‌ها کنار گذاشته خواهد شد.

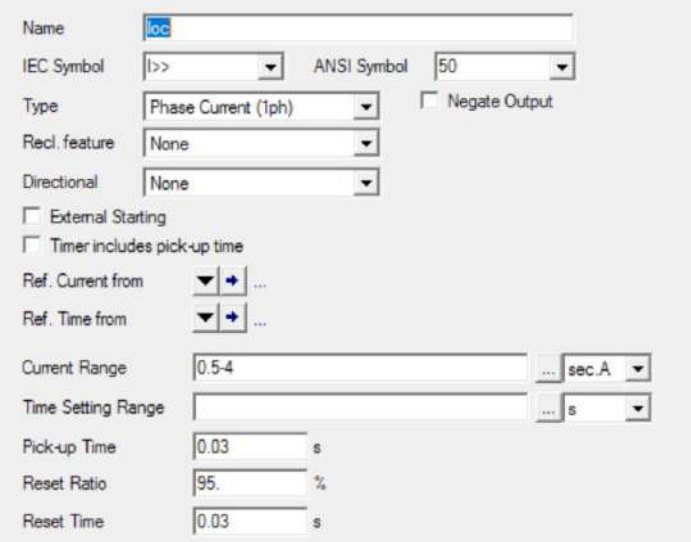
۶- در این قسمت با توجه به محدوده‌های تعریف شده در بخش تایپ، برای جهتی بودن رله، مشخصه عملکرد، تنظیم جریانی و تنظیم زمانی می‌توان از مقادیر مناسب را تنظیم نمود.

---

[۱] Offset

۷-۱۰-۷-ماژول حفاظت اضافه جریان آنی فاز به فاز

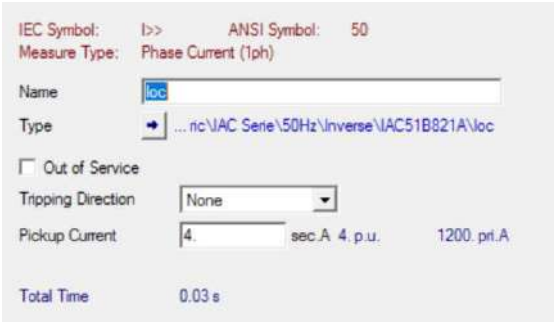
بخش تایپ



شکل (۷-۲۳): بخش تایپ رله اضافه جریان فاز آنی

تمامی پارامترهای تنظیمی مورد نیاز در این بخش در قسمت حفاظت اضافه جریانی توضیح داده شده است. در واقع تفاوت این قسمت با قسمت قبل نبود مشخصه‌های عملکردی جریان-زمان می-باشد.

بخش المان



شکل (۷-۲۴): بخش المان رله اضافه جریان فاز آنی

در بخش المان تنها مشخصه مورد نیاز برای تنظیم تعیین اندازه جریان پیک آپ[1] است که واحد حفاظت در صورت افزایش جریان از این مقدار آنی فرمان قطع را صادر می‌کند.

[1] Pickup

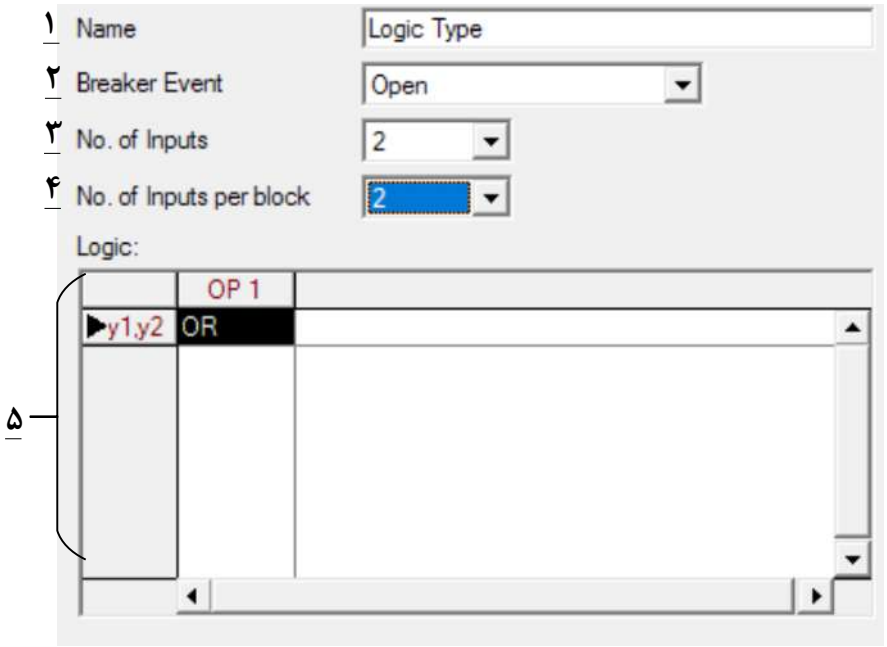
۷-۱۰-۸-ماژول حفاظت اضافه جریان تاخیری و آنی زمین

تمامی تنظیمات و پارامترهای موجود در این دو بخش همانند ماژول اضافه جریان تاخیری و آنی می-باشد. تنها باید مقدار تنظیمات آنها بر اساس برگه اطلاعاتی مربوط به واحد حفاظتی مربوطه انجام شود.

۷-۱۰-۹-ماژول منطق[1] خطای فاز

این ماژول، خروجی دو واحد حفاظت اضافه جریان و اضافه جریان آنی را دریافت نموده و بر اساس منطق تعریف شده خروجی که به یک کلید متصل را ایجاد می‌کند.

بخش تایپ



شکل (۷-۲۵): بخش تایپ ماژول منطق خطای فاز

۱- نام ماژول

۲- در این قسمت در صورت داشتن خروجی ۱ از واحد منطق، نوع عملکرد کلید مربوطه (که می‌تواند بسته، باز یا بدون اقدام باشد)مشخص می‌شود.

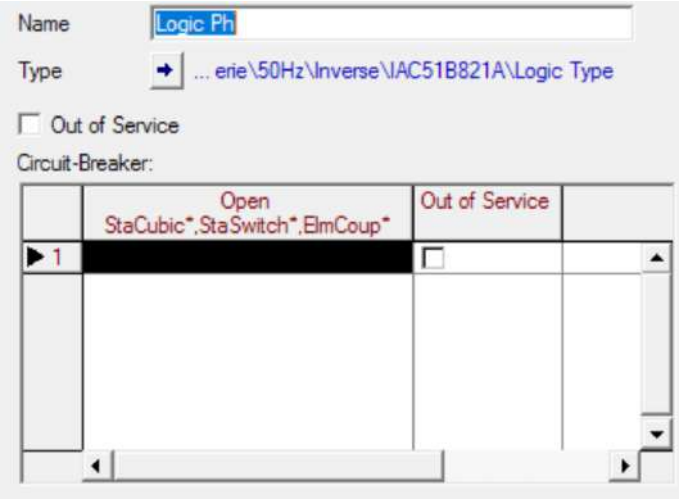
۳- تعداد ورودی‌ها

۴- تعداد ورودی به ازای هر بلوک

[1] Logic

۵- در این قسمت منطق مورد استفاده بیان شده است. این عملگر منطقی می‌تواند از بین تمامی عملگرهای منطقی باینری انتخاب شود.

بخش المان



شکل (۷-۲۶): بخش المان ماژول منطق خطای فاز

تنها تنظیم مورد نیاز مشخص کردن کلیدی است که باید خروجی واحد منطق به آن متصل شود. در این قسمت می‌توان آدرس کلید مورد نظر را به واحد منطق داد.

ماژول منطق[1] خطای زمین

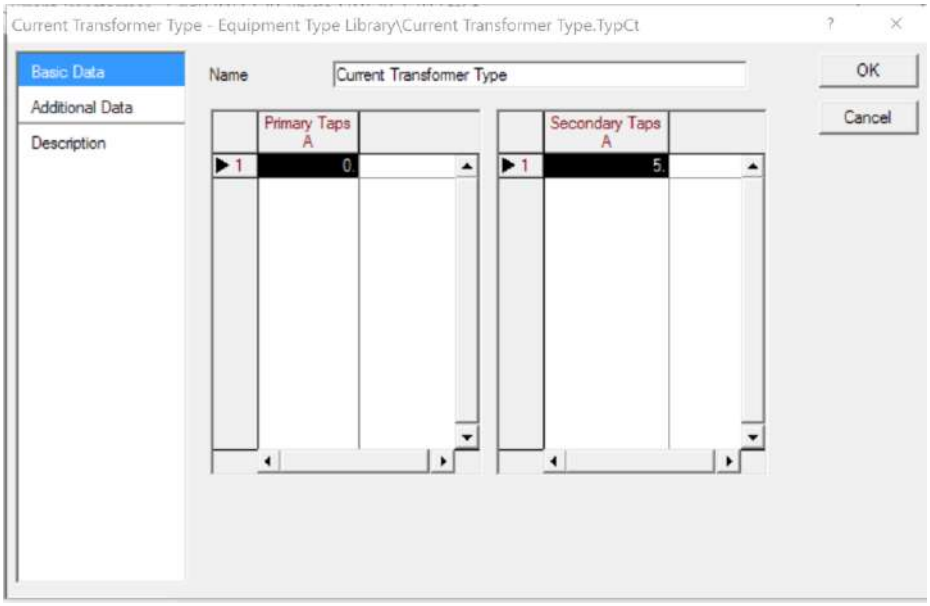
مشخصات مورد نیاز این قسمت کاملا مشابه قسمت قبل می‌باشد. تنها تفاوت این است که ورودی از واحدهای حفاظت زمین گرفته می‌شود.

ترانسفورماتور جریان

بخش تایپ

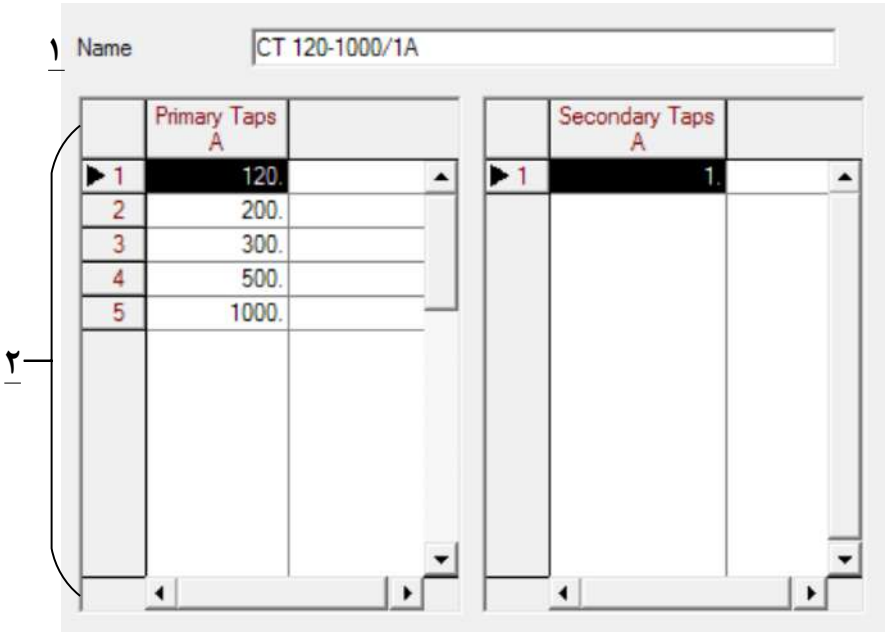
شکل کلی بخش تایپ ترانسفورماتور جریان در شکل (۷-۲۷) نشان داده شده است.

[1] logic



شکل (۷-۲۷):شکل کلی بخش تایپ ترانسفورماتور جریان

صفحه اطلاعات پایه

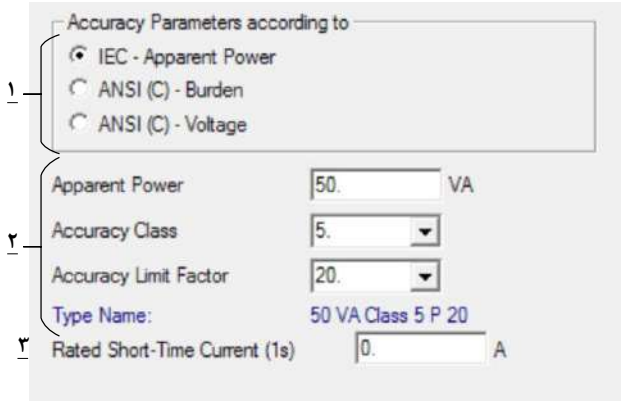


شکل (۷-۲۸): اطلاعات پایه بخش تایپ ترانسفورماتور جریان

۱- نام تایپ مورد نظر برای ترانسفورماتور جریان

۲- در این دو ستون به ترتیب مقدار جریان نامی‌تب‌های اولیه و ثانویه بر اساس آمپر وارد می‌شود.

صفحه اطلاعات اضافه



شکل (۷-۲۹): اطلاعات اضافه پایه بخش تایپ ترانسفورماتور جریان

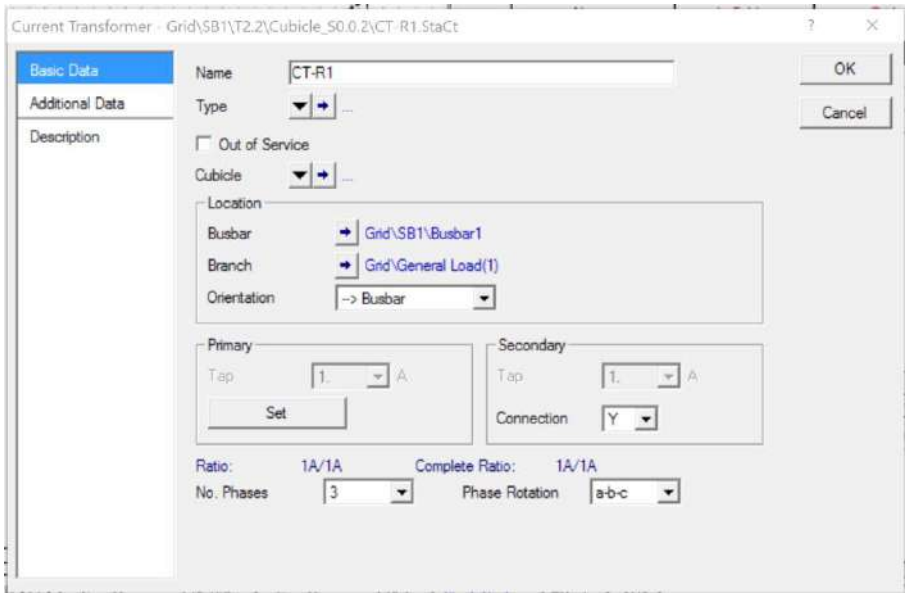
۱- در این قسمت استاندارد مورد استفاده برای تعیین دقیق ترانسفورماتور جریان انتخاب می‌شود. بهتر است بر اساس استاندارد IEC باشد.

۲- در این قسمت مشخصات کلاس دقت ترانسفورماتور جریان که شامل توان ظاهری، کلاس دقت درصدی و حد دقت جریان می‌باشد، وارد می‌شود. برای مثال یک ترانسفورماتور جریان با توان ظاهری ۵۰ ولت آمپر و با کلاس دقت ۵ درصد در ۲۰ برابر جریان نامی به صورت 50VA Class 5P20 شناخته می-شود.

۳- حداکثر جریان اتصال کوتاه نامی قابل تحمل بر حسب آمپر در این قسمت وارد می‌شود.

بخش المان

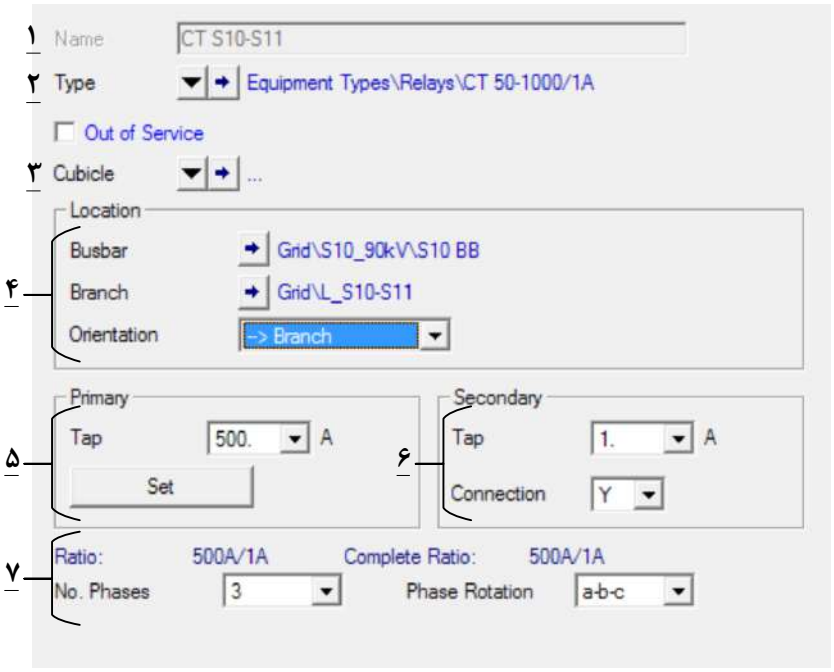
شمای کلی بخش المان ترانسفورماتور جریان در شکل (۷-۳۰) نشان داده شده است.



شکل (۷-۳۰): شکل کلی بخش المان ترانسفورماتور جریان

صفحه اطلاعات پایه

شکل (۷-۳۱) اطلاعات پایه بخش المان ترانس جریان در نرم‌افزار را نشان می‌دهد. در این بخش داریم:



شکل (۷-۳۱): اطلاعات پایه بخش المان ترانسفورماتور جریان

۱- نام تجهیز

۲- تایپ تجهیز

۳- در این قسمت می‌توان یک کیوبیکل را مشخص نمود تا ترانس جریان، جریان آن کیوبیکل را اندازه گیری کند..

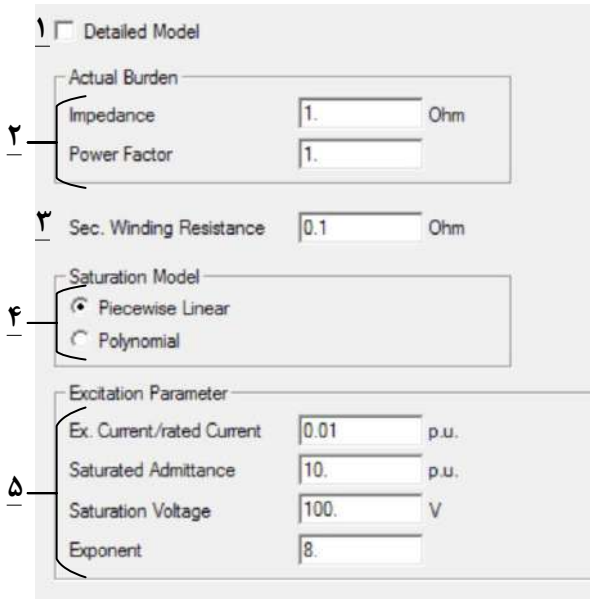
۴- باس و همینطور شاخه محل نصب ترانسفورماتور جریان در این قسمت مشخص می‌شود.

۵- تب سمت اولیه در این قسمت انتخاب می‌شود.

۶- تب سمت ثانویه و همینطور نوع سیم پیچی مثلث یا ستاره در این قسمت مشخص می‌شود.

۷- تعداد فازها و همچنین مشخصات آنها مانند نوع چرخش انتخاب آنها در این قسمت مشخص می‌شود.

صفحه اطلاعات اضافی



شکل (۷-۳۲): اطلاعات اضافی بخش المان ترانسفورماتور جریان

۱- با انتخاب این گزینه، از مدل دقیق ترانسفورماتور جریان استفاده می‌شود. برای اطلاعات بیشتر می‌توانید به راهنمای کاربردی نرم‌افزار مراجع کنید.

۲- مشخصات بار واقعی متصل به ثانویه ترانسفورماتور جریان که شامل امپدانس آن و همین طور ضریب توان آن می‌باشد.

۳- مقاومت سیم پیچی ثانویه ترانسفوماتور جریان در این قسمت تعیین می‌شود.

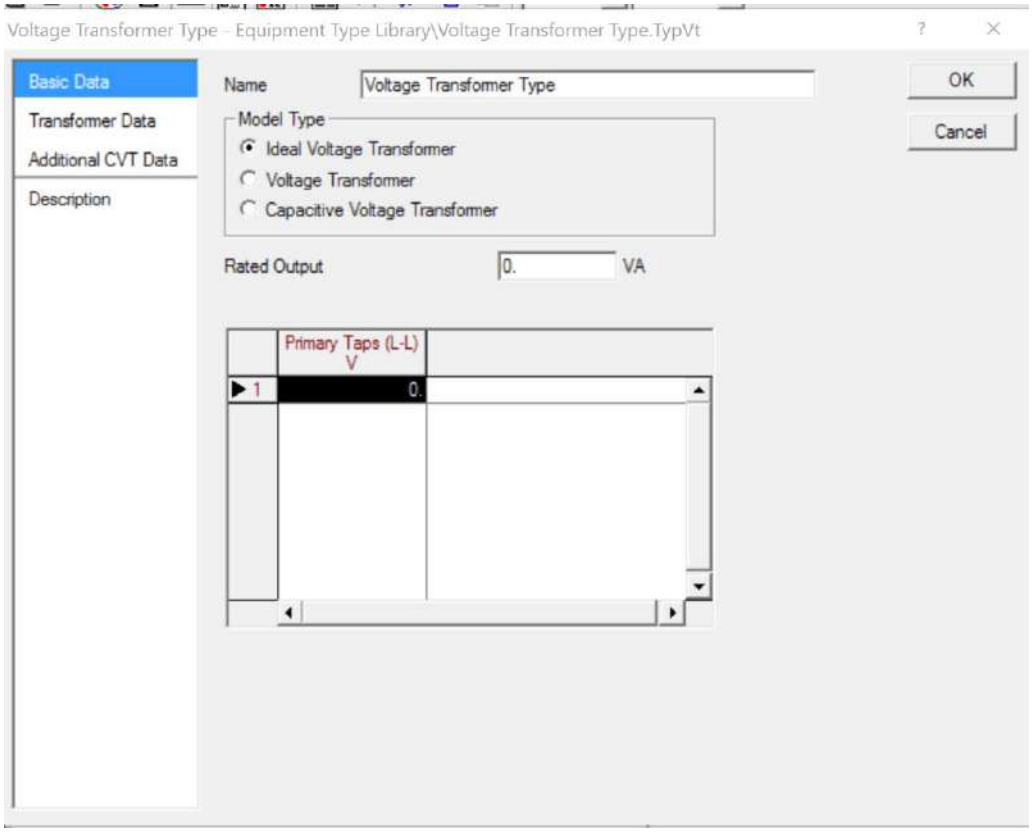
۴- نوع تابع مدل‌سازی اشباع ترانسفورماتور جریان که می‌تواند به صورت تکه خطی یا چند جمله‌ای توانی باشد مشخص می‌شود.

۵- مشخصات تحریک ترانسفورماتور جریان مانند جریان تحریک نامی، امپدانس اشباع، ولتاژ اشباع و غیره را در این قسمت تعیین می‌شود.

ترانسفورماتور ولتاژ

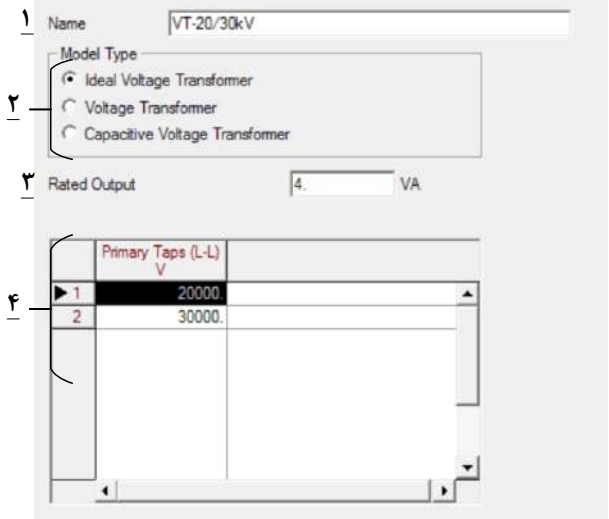
بخش تایپ

شکل کلی بخش تایپ ترانسفورماتور ولتاژ در شکل (۷-۳۳) نشان داده شده است.



شکل (۷-۳۳): شکل کلی بخش تایپ ترانسفورماتور ولتاژ

صفحه اطلاعات پایه



شکل (۷-۳۴): تنظیمات پایه بخش تایپ ترانسفورماتور ولتاژ

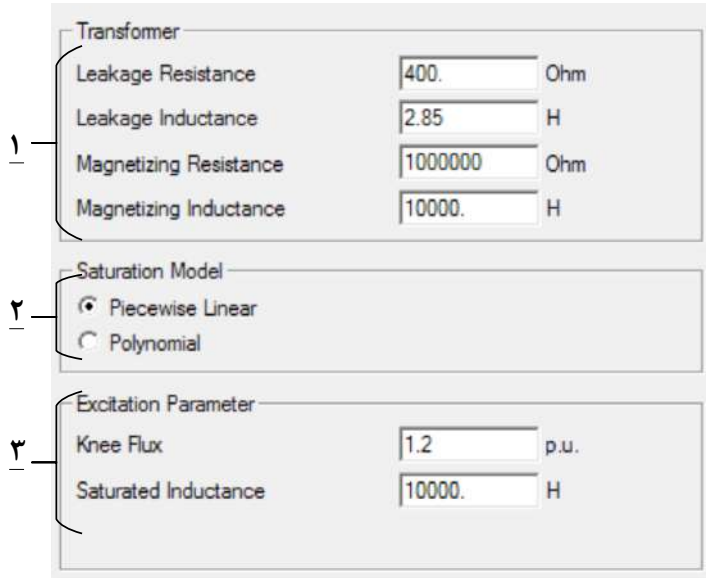
۱- نام تایپ انتخابی

۲- در این قسمت مدل استفاده شده برای پیاده‌سازی ترانسفورماتور ولتاژ انتخاب می‌شود. بنا بر سطح اطلاعات و نوع ترانسفورماتور ولتاژ مطلوب می‌توان آن را به صورت یک ترانسفورماتور ولتاژ ایده‌آل، غیر آیده‌آل و یا ترانسفورماتور ولتاژ خازنی مدل نمود.

۳- توان نامی خروجی ترانسفورماتور بر حسب ولت آمپر

۴- در این قسمت تب‌های اولیه ترانسفورماتور ولتاژ مشخص می‌شود.

۷-۱۰-۱۰-اطلاعات ترانسفورماتور ولتاژ



شکل (۷-۳۵): اطلاعات ساختاری ترانسفورماتور ولتاژ

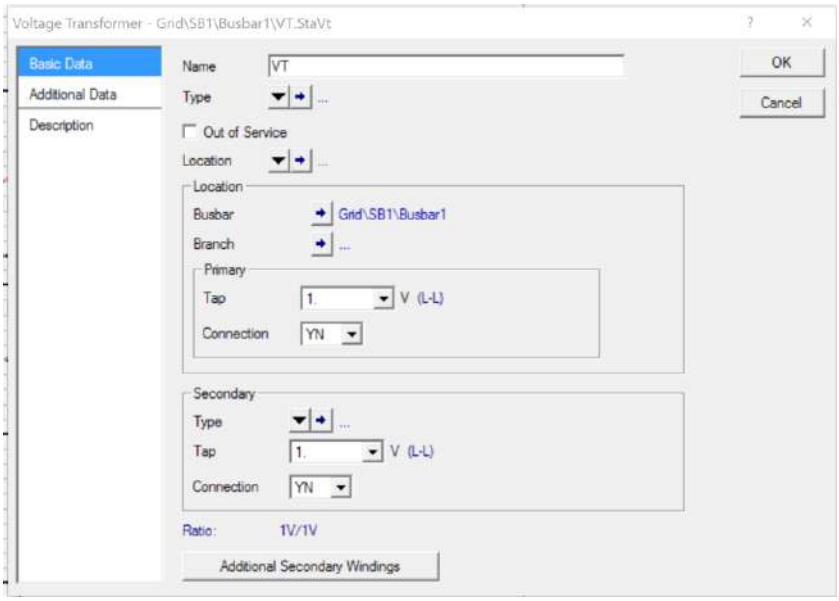
۱- مشخصات الکتریکی شار نشتی و همینطور هسته مغناطیس کنندگی ترانسفورماتور ولتاژ در این قسمت تعیین می‌شود.

۲- مدل‌سازی اشباع می‌تواند در دوحالت تکه خطی و یا معادله جبری باشد.

۳- مشخصات تحریک ترانسفورماتور ولتاژ که شامل نقطه زانویی و اندوکتانس اشباع می‌شود.

بخش المان

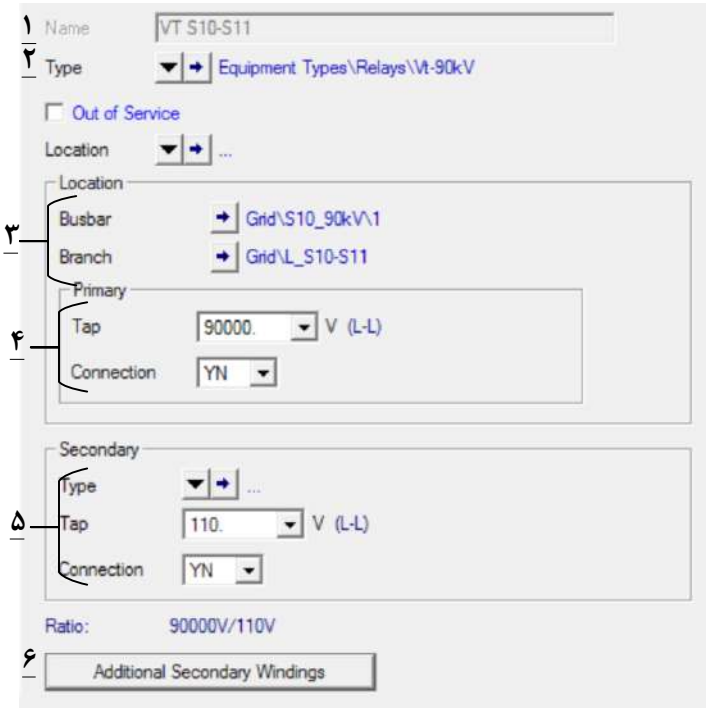
شکل کلی بخش المان ترانسفورماتور ولتاژ در شکل (۷-۳۶) نشان داده شده است.



شکل (۷-۳۶): شکل کلی بخش المان یک ترانسفورماتور ولتاژ

صفحه اطلاعات پایه

صفحه اطلاعات پایه المان ترانسفورماتور ولتاژ در نرم‌افزار در شکل (۷-۳۷) نشان داده شده است. در این قسمت داریم:



شکل (۷-۳۷): اطلاعات پایه بخش المان ترانسفورماتور ولتاژ

۱- نام تجهیز

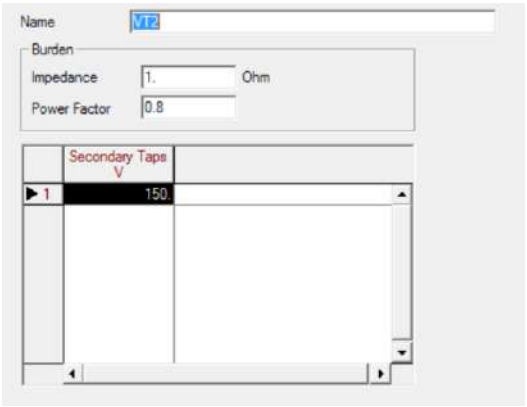
۲- تایپ تجهیز

۳- تعیین محل باس و خطی که ترانس ولتاژ در آن نصب می‌شود.

۴- تپ سمت اولیه و نوع اتصال سیم پیچی آن

۵- مشخصات تپ ثانویه همانند اولیه در این قسمت مشخص می‌شود. همین طور می‌توان برای نوع سیم پیچی ثانویه همانند شکل (۷-۳۷) تایپ تعریف نمود.

۶- با انتخاب این گزینه در صورت لزوم می‌توان سیم پیچ ثانویه اضافه‌ای را نیز در نظر گرفت.

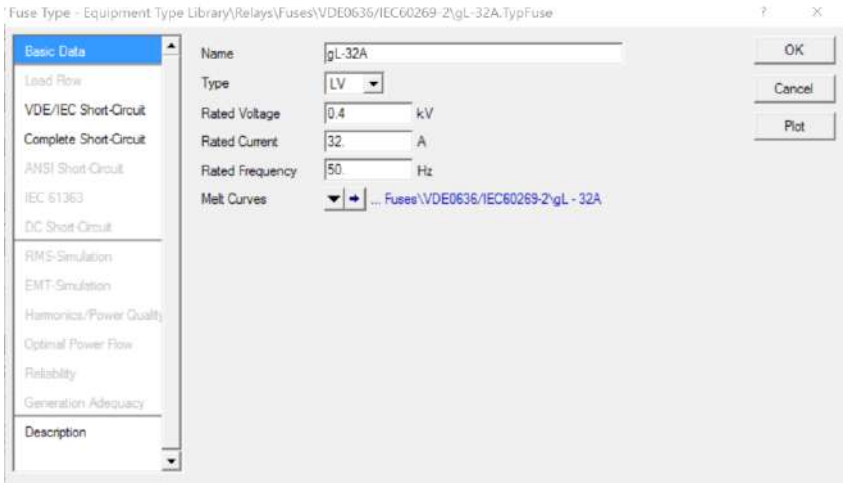


شکل (۷-۳۸): در نظر گرفتن سیم پیچ ثانویه اضافه برای ترانسفورماتور ولتاژ

۷-۱۰-۱۱-فیوز

بخش تایپ

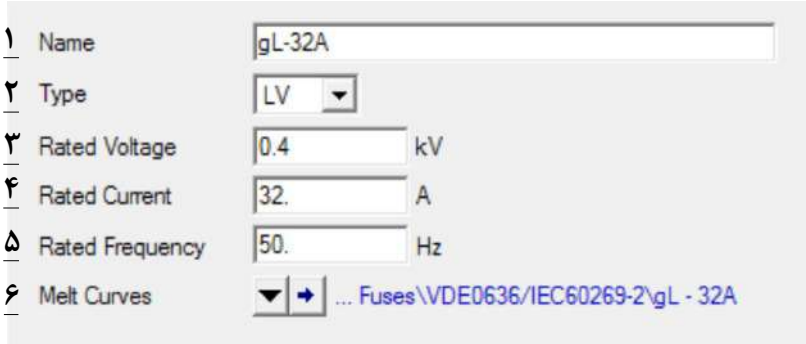
شکل کلی بخش تایپ فیوز در شکل (۷-۳۹) نشان داده شده است که در ادامه قسمت‌های مختلف آن توضیح داده شده است.



شکل (۷-۳۹): شکل کلی بخش تایپ فیوز

صفحه اطلاعات پایه

صفحه اطلاعات پایه بخش تایپ فیوز در نرم‌افزار در شکل(۷-۴۰) نشان داده شده است. در این بخش داریم:



شکل (۷-۴۰): اطلاعات پایه بخش تایپ فیوز

۱- نام فیوز

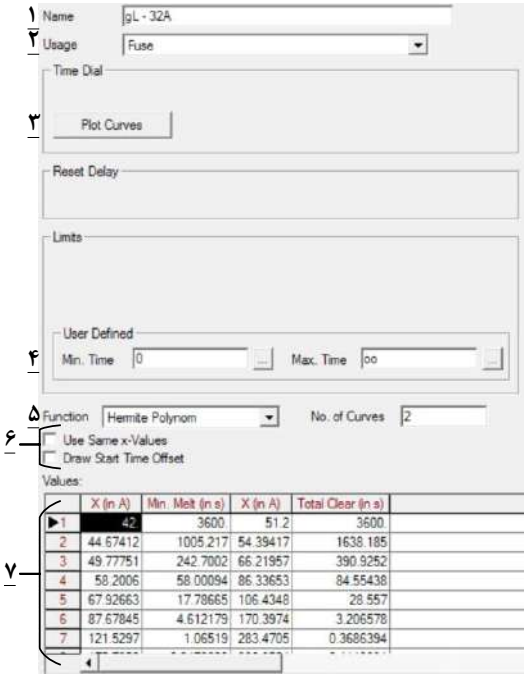
۲- سطح ولتاژ مورد استفاده

۳- ولتاژ نامی فیوز

۴- جریان نامی که می‌تواند در حالت عادی تحمل کند.

۵- فرکانس کاری فیوز

۶- در این قسمت منحنی ذوب فیوز مشخص می‌شود. در این بخش داریم:

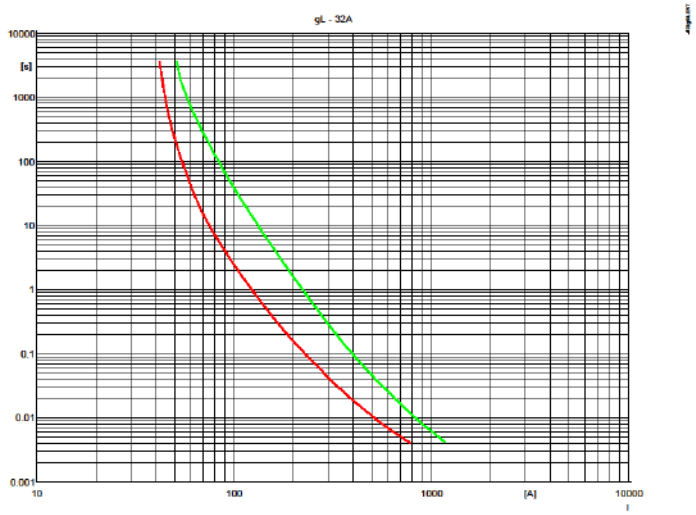


شکل (۷-۴۱): تنظیمات منحنی ذوب فیوز

۱- نام منحنی ذوب شدگی

۲- در این قسمت نوع کاربرد منحنی انتخاب می‌شود که با توجه به کاربرد باید فیوز انتخاب شود.

۳- با انتخاب این گزینه منحنی‌های ذوب شدگی همانند شکل زیر نشان داده می‌شود.



شکل (۷-۴۲): منحنی‌های ذوب فیوز

منحنی قرمزرنگ نشان دهنده منحنی شروع ذوب شدگی فیوز می‌باشد و منحنی زردرنگ منحنی قطع آن است.

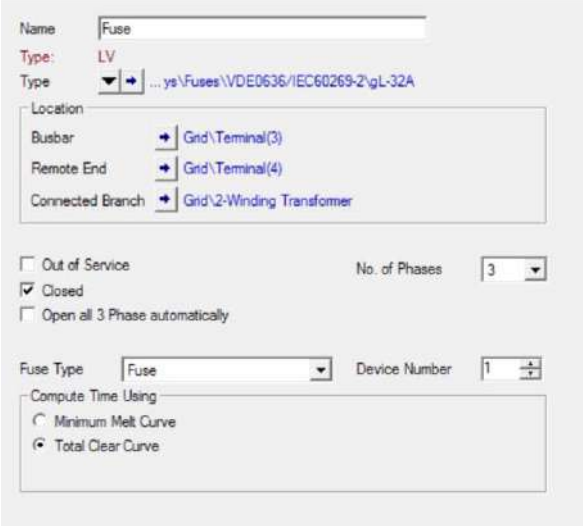
۴- کاربر می‌تواند در صورت لزوم زمان محدوده عملکرد فیوز را محدود کند.

۵- نوع تابع استفاده شده برای پیاده‌سازی منحنی ذوب شدگی فیوز در این قسمت مشخص می‌شود. تصمیم انتخاب مدل درست برای پیاده‌سازی منحنی بستگی به داده‌های موجود از فیوز دارد

۶- این دو گزینه انتخاب‌های مربوط به پیاده‌سازی منحنی قطع فیوز می‌باشند. گزینه اول باعث می‌شود که سطح جریان که منحنی X می‌باشد برای ورود اطلاعات دو منحنی یکسان بوده و دیگری آفست شروع را در نظر میگیرد.

۷- در این قسمت دو منحنی معرفی شده به صورت نقطه‌ای در دستگاه دو بعدی جریانی زمانی وارد می‌شود. البته نوع ورود داده وابسته به انتخاب تابع قسمت ۵ می‌باشد. در این حالت دو ستون اول منحنی شروع ذوب شدگی دو ستون دیگر منحنی زمان قطع را نشان می‌دهد.

بخش المان



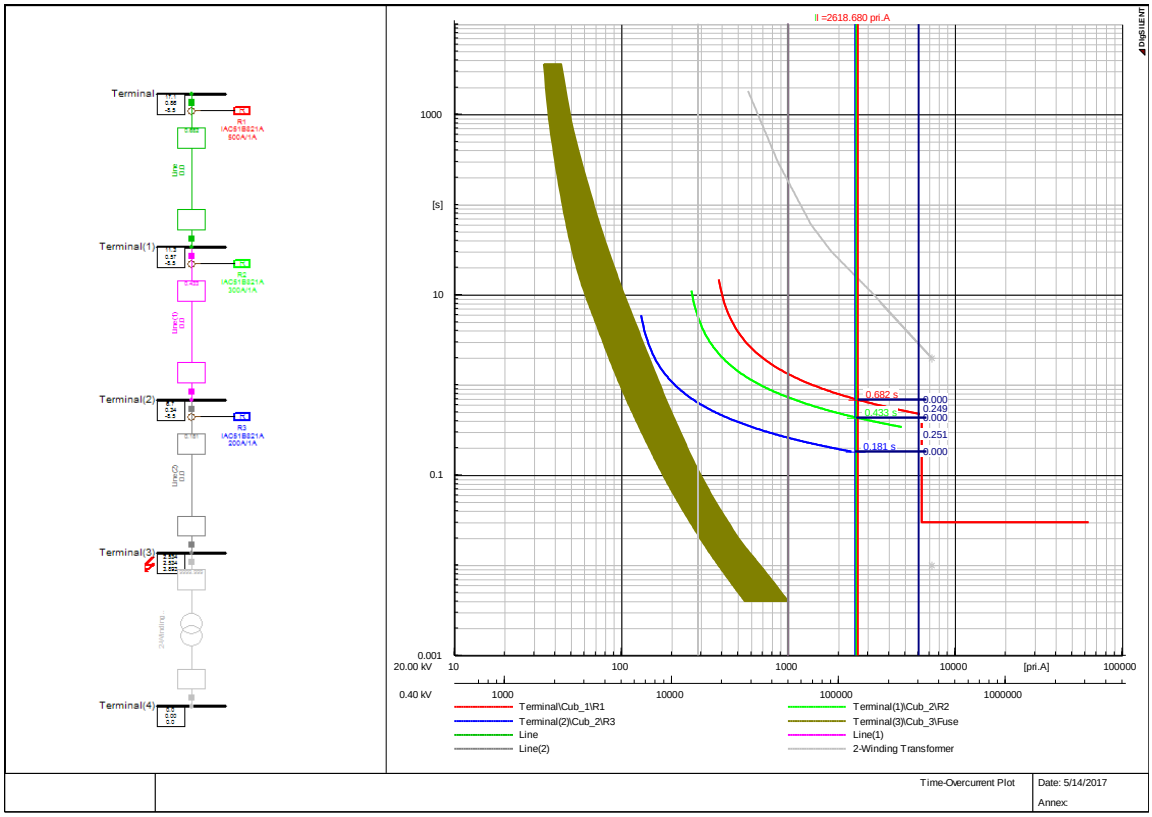
شکل (۷-۴۳): تنظیمات بخش المان فیوز

بخش المان فیوز تنظیم خاصی برای انجام دادن وجود ندارد. تنها می‌توان مشخص نمود که محاسبات بر حسب نمودار شروع ذوب شدگی یا ذوب شدگی و قطع کامل باشد.

۷-۱۱- نحوه ایجاد هماهنگی حفاظتی بین رله‌های اضافه جریان

پس از ورود داده‌های ساختاری رله و دیگر تجهیزات حفاظتی بر اساس اطلاعات برگه‌های اطلاعاتی و داده‌های موجود، لازم است هماهنگی بین آنها ایجاد شود. برای این‌کار می‌توان منحنی مشخصه زمانی جریانی رله‌ها و فیوزهای موجود را ترسیم نمود یکی از ابزارهای کمکی نرم افزار DIgSILENT تغییر گرافیکی منحنی‌های رله و فیوز به منظور رسیدن به هماهنگی لازم بین آنها است.

در شکل زیر یک نمودار مشخصه‌های جریانی ۳ رله و ۱ فیوز همراه با مد شبکه نشان داده شده است. می‌توان با انتخاب هر کدام از منحنی‌ها و انتخاب گزینه Spilt منحنی را با توجه ویژگی آنها جابه‌جا کرد و درصورت این جابه‌جایی تغییرات مقادیر تنظیمی (اطلاعات موجود در بخش المان) نیز تغییر می‌کند. برای مثال در شکل (۷-۴۴) سه رله اضافه جریان فاز به فاز و یک منحنی ذوب‌شدگی فیوز مشاهده می‌شود. ابتدا بنا بر قواعد حفاظتی از پایین دست ترین تجهیز حفاظتی شروع کرده و سپس دیگر تجهیزات حفاظتی را با توجه به منحنی عملکرد تجهیز حفاظتی پایین دست خود و جریان اتصال کوتاه آن تنظیم نمود.



شکل (۷-۴۴): دیاگرام و منحنی‌های حفاظتی یک شبکه توزیع نمونه

۷-۱۲- قواعد هماهنگی تجهیزات حفاظتی شبکه توزیع

انتخاب تجهیزات حفاظتی جریان زیاد همراه با تنظیم‌های زمان–جریان آنها در طول مدار توزیع جهت برطرف نمودن خطاهای خطوط و دیگر تجهیزات با توجه به ترتیب عملکرد از پیش تعیین شده را هماهنگی تجهیزات حفاظتی می نامند. زمانی که دو وسیله حفاظتی ترتیب عملکرد خاصی برای رفع خطای مشخص داشته باشند به گونه ای که در عملکرد همدیگر تداخل نداشته باشند این دو را هماهنگ می‌گوییم. وسیله‌ای که تنظیم شده است تا ابتدا عمل کند را بعنوان حفاظت اصلی یا اولیه می‌نامیم که زودتر وارد عمل می‌شود و معمولا به خطا نزدیکتر است. وسیله دیگر حفاظت پشتیبان را تامین می‌کند و زمانی که حفاظت اولیه بکار نیفتد وارد عمل می‌شود. هماهنگی مناسب مزیتهای زیر را دارد.

- ❖ گستره خطا را با به حداقل رساندن مشترکینی که تحت تاثیر خطا قرار گرفته اند محدود می‌کند.
- ❖ قطعیهای ناشی از خطای گذرا را از بین می‌برد.
- ❖ محل خطا با توجه به وسیله حفاظتی عمل کننده مشخص شود.
- ❖ خطا را در کمترین زمان ممکن رفع می کند.

از آنجا که مسئله هماهنگی به تجربه و قضاوت انسانی و مشخصات وسایل حفاظتی مربوط می شود کارخانجات سازنده تجهیزات و طراحان سیستمهای حفاظتی شبکه های توزیع الکتریکی هر کدام نظریات و دیدگاههای خاص خود را راجع به نحوه تنظیم و هماهنگ نمودن وسایل حفاظتی دارند. برخی از سازندگان برای تنظیم هماهنگ و مطمئن وسایل حفاظتی که تولید نموده‌اند جداولی ارائه می‌نمایند که در شرایط مختلف، اندازه تنظیمات و مقادیر نامی پیشنهادیشان را عرضه می‌کنند. در این بخش به بررسی هماهنگی حفاظتی بین رله-رله و فیوز-رله پرداخته می‌شود.

۷-۱۲-۱-هماهنگی رله – رله

برای عدم تداخل درعملکرد رله‌های اصلی وپشتیبان هنگام وقوع خطا، یک‌فاصله زمانی لازم بایستی بین زمان عملکرد رله‌های اصلی وپشتیبان وجود داشته‌باشد. دریک سیستم حفاظتی، زمان عملکرد رله بایستی بگونه‌ای باشد که اولا" این زمان آنقدر بزرگ باشد که به هنگام وقوع یک خطا، نزدیکترین کلید به محل خطا ابتدا قطع نماید. ثانیا" آنقدر بزرگ نباشد که درصورت عدم عملکرد حفاظت اصلی حتی با قطع رله‌پشتیبان، سیستم آسیب جدی ببیند. این فاصله زمانی به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- زمان لازم جهت قطع جریان خطا توسط کلید: تا زمانی که جریان خطا توسط کلید قطع نشده است، این جریان از رله پشتیبان عبور می‌نماید. بدین دلیل این زمان باید به زمان عملکرد رله اصلی اضافه گردد. این زمان بستگی به نوع کلید و سرعت عملکرد آن دارد و بطور متوسط ۱۰۰ میلی ثانیه درنظر گرفته می‌شود مگر این‌که اطلاع دقیقی از زمان عملکرد کلید در دست باشد.

۲- زمان مربوط به اضافه مسافت[۱] رله پشتیبان: بعد از قطع جریان خطا، جریان عبوری از رله پشتیبان تا جریان بار آن که کمتر از جریان پس‌گرد رله میباشد کاهش می یابد ولی با این عمل اگر رله پشتیبان از نوع الکترومغناطیسی باشد به علت انرژی جنبشی، قسمت گردان آن از حرکت نمی ایستد و مسافت دیگری را به طرف جلو طی مینماید. زمانی‌که در هنگام عبور جریان خطا قسمت گردان رله میتواند اضافه مسافت مزبور را طی نماید باید در هماهنگی رله‌ها منظور گردد. در رله‌های استاتیکی نیز خازن‌ها و سلف‌ها دارای انرژی ذخیره شده بوده و عمل فوق را انجام میدهند. البته با طراحی، این پدیده در رله کاهش داده می‌شود. ولی در هر حال حدود ۵۰ میلی ثانیه برای این منظور در هماهنگی رله‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۳- خطاها: این خطاها شامل خطاهای رله‌ها، ترانسفورماتورهای جریان و محاسبات جریان‌های اتصال کوتاه می‌شود. رله‌های اصلی و پشتیبان هردو میتوانند سریعتر و یا کندتر از زمان تنظیمی عمل نموده و بدین ترتیب از نظر زمان عملکرد، دارای خطاهای مثبت یا منفی باشند. اینگونه خطاهای رله‌ها به جریان عبوری از رله بستگی دارد. برای جریانهای بیشتر از ۴ برابر جریان تنظیمی خطای رله به تدریج کاهش می‌یابد.

بطور کلی با توجه به کلاس رله درصدی از زمان عملکرد رله را به عنوان زمان خطای رله درنظر میگیرند. این خطا در رله‌های مختلف متفاوت بوده و در هر مورد باید به استاندارد مربوطه مراجعه شود. در مورد رله‌های جریان زیاد کاهشی خطای زمان را حدود ۷/۵ درصد درنظر میگیرند و چون جهت اطمینان خطای رله‌های اصلی و پشتیبان را در خلاف جهت یکدیگر فرض مینمایند، خطای کلی را حدود ۱۵ درصد میگیرند. به این مقدار ۱۰ درصد نیز جهت در نظر گرفتن خطای ناشی از تمام ترانسفورماتورهای جریان و سایر خطاها اضافه می‌گردد که در نتیجه زمان کل خطا برای رله‌های کاهشی برابر ۲۵ درصد و یا ۰/۲۵t میشود که t زمان عملکرد رله نزدیک محل خطا است.

---

[۱] Overshoot or overtravel

۴- فاصله ایمنی[1] جهت اطمینان از عدم عملکرد رله پشتیبان (حاشیه اطمینان): برای این که رله‌ها در هر شرایطی انتخاب‌گری خود را حفظ نمایند، به سه زمان فوق یک فاصله ایمنی حدود ۱۰۰ میلی ثانیه اضافه میگردد.

برای به دست آوردن فاصله زمانی لازم جهت هماهنگی دو رله (C.T.I.) باید چهار زمان فوق را با هم جمع نماییم بدین ترتیب مقدار (C.T.I.) برای هماهنگی رله های با مشخصه کاهشی از رابطه :

$$C.T.I. = 0.25t + 0.1 + \%5 + 0.1 = 0.25t + 0.25 \qquad (۱-۷)$$

به دست می آید. در رابطه فوق t زمان عملکرد رله اصلی بر حسب ثانیه میباشد.

در گذشته و حال در بسیاری از موارد با انتخاب یک زمان ثابت رله‌ها را هماهنگ نموده اند. این زمان را در گذشته برابر ۰/۵ ثانیه در نظر می‌گرفتند و اکنون به علت سریع‌تر شدن کلیدها و کاهش زمان مربوط به اضافه مسافت رله برابر ۰/۴ ثانیه در نظر میگیرند.

در بعضی مراجع زمان ثابت ۰/۱۵ برای مجموع کل خطاها در نظر گرفته میشود. در این صورت فاصله زمانی بصورت زیر بدست می آید:

$$C.T.I. = 0.1 + 0.05 + 0.15 + 0.1 = 0.4 \qquad (۲-۷)$$

۷-۱۲-۲-هماهنگی رله- فیوز

الگوریتم لازم جهت یافتن تنظیمات مناسب یک رله جریان زیاد پشتیبان فیوز به ترتیب زیر صورت می‌پذیرد:

۱- جهت پیدا کردن بیشترین جریان اتصال کوتاه، محل خطا را جلوی فیوز (حفاظت اصلی) قرار می‌دهیم.

۲- با توجه به جریان اتصال کوتاه، زمان MMT[2] فیوز اصلی تحت جریان اتصال کوتاه پیدا می‌شود.

۳- به دلیل تولرانس موجود در عملکرد فیوزهای مختلف، ناشی از تفاوتهای موجود در ساخت فیوز، ۴۰٪ خطا برای زمان ذوب شدن فیوز(MMT) در نظر گرفته می‌شود.

۴- جهت پیدا کردن فاصله زمانی مناسب بین عملکرد رله اصلی و ذوب شدن فیوز پشتیبان، رابطه زیر توصیه شده است:

---

[1] Safety margin

[2] Minimum Melting Time

$$\Delta T = 0.4t_F + 0.15 \qquad (۳-۷)$$

در رابطه بالا t_F زمان MMT فیوز می‌باشد.

می توان بجای زمان MMT فیوز، زمان MCT آن را در نظر گرفت و جهت پیدا کردن از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\Delta T = MCT + 0.2 \qquad (۴-۷)$$

۵- جهت بدست آمدن زمان عملکرد رله، ΔT به زمان عملکرد فیوز اضافه می‌شود.

۶- حداقل جریان اتصال کوتاه،۱/۳ برابرجریان بار عبوری از رله انتخاب می‌گردد.

۷- اگر PS[1] بدست آمده بیشتر از حداکثر میزان مجاز آن باشد (۲۰۰ درصد) ترانسفورماتور جریان موجود در شبکه باید تعویض و یک مرتبه بالاتر انتخاب شود.

۷-۱۳-نتیجه گیری

در این بخش به معرفی تاثیرات منبع تولید پراکنده در سیستم حفاظتی شبکه توزیع پرداخته شده است. سیستم حفاظتی شبکه توزیع می‌تواند در حالت اتصال منبع تولید پراکنده دچار مشکلاتی شده و هماهنگی حفاظتی را از دست بدهد. بنابراین اتصال منبع تولید پراکنده به شبکه توزیع باید همراه با ملاحظاتی همراه باشد که در این بخش به آنها پرداخته شده است. همچنین در این بخش به نحوه مدلسازی نرم افزاری اجزای سیستم حفاظتی اعم از رله، فیوز و ترانس‌های جریان ولتاژ پرداخته شده است. در انتها نیز به قواعد مربوط به ایجاد هماهنگی بین دو بخش رله و فیوز در سیستم توزیع پرداخته شده است.

[1] Plug Setting

فصل هشتم

مطالعات سیستم زمین

۸-۱-مقدمه

یکی از مهم‌ترین مطالعاتی که جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه لازم است انجام شود، مطالعات سیستم زمین است. سیستم زمین تجهیزات باید به گونه‌ای طراحی گردد که در هنگام بروز خطاهای مختلف به خصوص خطای تکفاز به زمین، مانع از آسیب رسیدن به آن‌ها شوند. روش‌های مختلفی از جمله قرار دادن امپدانس در محل اتصال نوترال تجهیزات به زمین یا وجود ترانسفورماتور ولتاژ به منظور حفاظت زمین وجود دارد که باید به دقت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند. همچنین این طراحی نباید تاثیر نامطلوبی بر شبکه توزیع داشته باشد که در این گزارش به روش انجام مطالعات سیستم زمین پرداخته خواهد شد.

۸-۲- اهداف

هدف از مطالعات مربوط به زمین مولدهای تولید پراکنده، محدود نمودن میزان جریان ایجاد شده در اثر وقوع خطاهای الکتریکی متقارن یا نامتقارن در شبکه یا مولد و نیز عدم تاثیر بر روی حساسیت رله‌های حفاظتی است. این مطالعات باید موارد زیر را شامل گردد:

۱) بهره‌برداری ایمن از تجهیزات

۲) جلوگیری از وقوع خطراتی از قبیل آتش سوزی و جرقه و غیره

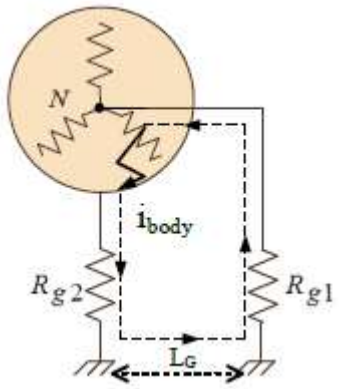
۳) جلوگیری از وقوع افت ولتاژهای گذرا

۴) جلوگیری از افزایش ولتاژ در برخی خطاها از قبیل خطای تکفاز به زمین

۸-۳- مطالعات سیستم زمین برای ژنراتور سنکرون

ژنراتورهای سنکرون بخش عمده‌ای از تولیدات پراکنده در کشور ما را شامل می‌شوند. لذا مطالعات مربوط به سیستم زمین آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجایی که حفاظت از افراد و پرسنل نیز باید در مباحث حفاظتی سیستم زمین لحاظ شود لذا باید برای بخش‌هایی از ژنراتور از قبیل بدنه آن که در معرض تماس مستقیم با پرسنل هستند سیستم زمین مناسبی تعبیه شود. سیستم زمین برای ژنراتورهای سنکرون به طور عمده به دو نوع تقسیم می‌گردد:

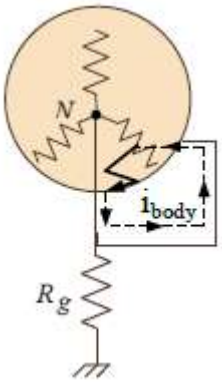
الف) سیستم زمین TT: در این نوع سیستم زمین، نوترال ژنراتور و بدنه آن به صورت جداگانه به زمین متصل می‌گردند. نحوه این نوع زمین کردن در شکل (۸-۱) نمایش داده شده است:



شکل (۸-۱): سیستم زمین TT

در این نوع سیستم زمین ، نوترال ژنراتور از طریق یک مقاومت به نام R_{g1} (مقاومت زمین الکتریکی) و بدنه ژنراتور از طریق یک مقاومت به نام R_{g2} (مقاومت زمین حفاظتی) به زمین متصل می‌گردند. به طور متداول، مقدار مقاومت R_{g2} حداکثر ۲ اهم و مقدار مقاومت R_{g1} حداکثر ۱۰ اهم انتخاب می‌شود. البته مقادیر این مقاومت‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شود که موجب کاهش حساسیت رله‌های حفاظتی نشود. در صورت انتخاب مقدار مناسب این مقاومت‌ها، میزان جریان خطای نوترال به زمین حدود ۱,۵ تا ۲ پریونیت بوده اما جریان خطای بدنه به حدود ۰,۰۲ پریونیت محدود می‌گردد که مانع از آسیب رسیدن به پرسنل می‌شود. اما این اختلاف جریان ممکن است در حالتی که زمان خطا طولانی باشد، موجب تخریب ساختار عایقی ورقه‌های ژنراتور گردد. اما در صورتی که رله‌های حفاظتی خطا را سریع تشخیص دهند، میزان این تخریب کاهش خواهد یافت.

ب) سیستم زمین TN: در این نوع سیستم زمین، نوترال ژنراتور و بدنه آن به صورت شکل (۸-۲) به زمین متصل می‌گردند:



شکل (۸-۲): سیستم زمین TN

در این نوع سیستم زمین ، هرگاه یک خطا در داخل ژنراتور رخ دهد، جریان خطا در داخل حلقه نشان داده شده جریان می‌یابد، لذا میزان جریان خطا در این حالت ارتباطی به مقدار مقاومت R_g نخواهد

داشت. مقدار مقاومت تنها در حالتی که خطا در شبکه بالادست رخ دهد اهمیت می‌یابد، به گونه‌ای که افزایش آن موجب می‌شود که در هنگام خطا در شبکه بالادست، میزان مشارکت مولد در این خطا کاهش یابد. مقدار مقاومت R_g نیز به طور متداول حداکثر ۲ اهم انتخاب می‌شود.

۸-۳-۱- زمین کردن نوترال ژنراتور سنکرون

در مولدهای تولید پراکنده، عمدتا احتمال وقوع خطای فاز به زمین بیشتر از سه فاز است. همچنین مولدها عمدتا توانایی کمی در مقابله با خطاهای نامتقارن دارند. لذا لازم است میزان جریان خطای فاز به زمین در مولد با قرار دادن یک امپدانس در نوترال ژنراتور به مقدار جریان خطای سه فاز محدود شود. مشکل دیگر این است که اگر خطا در مولد رخ دهد، حتی پس از بازکردن کلید اصلی ژنراتور (GCB) نیز، خطا در مولد باقی می‌ماند، لذا سهم مولد در میزان جریان تزریقی در هنگام خطا در داخل آن از بقیه تجهیزات مربوط به شبکه بیشتر است.

یکی از روش‌های زمین کردن نوترال مولد، استفاده از امپدانس با مقدار زیاد است. استفاده از این روش علاوه بر کاهش میزان جریان عبوری خطا از مولد، موجب کاهش آسیبهای وارده به هسته استاتور و سیم‌پیچی‌های آن می‌گردد. البته در صورت استفاده از امپدانس بسیار زیاد در نوترال مولد، این روش ممکن است موجب ایجاد اضافه ولتاژهای گذرا در هنگام خطا گردد.

روش دیگری که پیشنهاد می‌گردد استفاده از کلید قدرت در نوترال ژنراتور و قطع همزمان کلید اصلی مولد و کلید نوترال است. این روش نسبت به روش اول پیچیدگی و هزینه زیادتری دارد، اما در موارد زیر می‌تواند به عنوان گزینه اول مطرح باشد:

الف) ژنراتور به صورت اتصال مستقیم (Bus-Connected) در شبکه استفاده شود و از رله جریان زیاد (OC) به منظور تشخیص خطای جریان زیاد در ژنراتور استفاده شود، لذا نمی‌توان از روش امپدانس بالا استفاده کرد.

ب) پس از باز شدن کلید نوترال، بدنه ژنراتور که به سیم‌پیچ استاتور متصل است، برق‌دار است. برای اینکه مشکلات مرتبط با ایمنی حل شود، لازم است از روش همبندی در منطقه اطراف محل نصب ژنراتور و سایر مناطقی که به دلیل انتقال ولتاژ برقدار هستند استفاده شود.

مشکلات سیستم‌های زمین نشده که در زیر بیان می‌شود، باعث می‌شود که این نوع سیستم زمین در ژنراتورها به کار نرود و به جای آن از امپدانس بالا در نوترال ژنراتور استفاده شود:

الف) تشکیل اتصال کوتاه فاز به فاز یا اتصال حلقه ناشی از دو اتصال کوتاه فاز به زمین

ب) ایجاد رزونانس یا فرورزونانس به هنگام وقوع اتصال کوتاه فاز به زمین در سیم پیچ موتور و به ویژه سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور ولتاژ

ج) اضافه ولتاژ گذرا ناشی از خاموش شدن قوس و برقراری مجدد قوس

به منظور از بین رفتن برخی مشکلات جدی در سیستم زمین ایزوله (نظیر بروز پدیده رزونانس و ایجاد اضافه ولتاژ گذرا ناشی از برگشت قوس در محل خطا) اگر از مقاومت اتصال نوترال به زمین (NGR) با مقدار زیاد برای اتصال زمین استفاده شود، مناسب است که جریان عبوری از NGR در خطای فاز به زمین بیش‌تر از جریان عبوری از خازن‌های پراکندگی فاز به زمین در سیستم باشد. در اغلب کاربردهای صنعتی روش مطلوب زمین‌کردن ژنراتورها، استفاده از NGR با مقاومت بالا است (به ویژه در صورتی که اتصال ژنراتور به شبکه توسط ترانسفورماتور واسطه (Unit-Connected) انجام گیرد یا اینکه ژنراتور به صورت جزیره‌ای استفاده شود). لذا بر مبنای روش اتصال زمین نوترال ژنراتور بایستی از نوع مناسبی از رله‌ها و تنظیم مناسب استفاده شود. همچنین مرسوم است که به جای استفاده از یک مقاومت با ولتاژ بالا، از یک ترانسفورماتور تکفاز(معمولا با ثانویه ۱۲۰ یا ۲۴۰ولت) استفاده شده و NGR فشار ضعیف به ثانویه آن وصل شود. در این حالت می‌توان رله ولتاژی را نیز به صورت مستقیم به ثانویه ترانسفورماتور مذکور وصل نمود. همچنین بهتر است که به منظور کاهش هارمونیک‌های مرتبه سوم در زمان خطا، طراحی ژنراتور از نوع دوسوم گام (نقصانی) باشد.

در حالت Bus-Connected که از سیستم زمین با مقاومت بالا یا سیستم زمین راکتانسی استفاده می‌شود و ژنراتور از نوع دوسوم گام نیست، جریان هامونیک سوم بزرگ بوده و ولتاژی را بین نوترال و زمین ژنراتور ایجاد می‌کند. در این حالت ولتاژ فاز به زمین (نه فاز به نوترال) در طول شبکه نامتعادل می‌گردد. با استفاده از گام نقصانی(دو سوم گام) مشکل القای ولتاژ هارمونیک سوم در سیم‌پیچ استاتور ژنراتور حل می‌شود. در مورد زمین کردن مولدهای فشار ضعیف متصل به شبکه LV نکات زیر باید رعایت شود:

الف) در صورت بهره‌برداری جزیره‌ای، بایستی نوترال را مستقیما زمین کرد (البته عملا به دلیل وجود مقاومت محل اتصال زمین، جریان اتصال کوتاه فاز به زمین محدود می‌شود).

ب) اگر بهره‌برداری از ژنراتور با اتصال Bus-Connected گاهی به صورت جزیره‌ای و گاهی متصل به شبکه است، در این‌صورت به دلیل وجود مقاومت محل اتصال به زمین، جریان خطای فاز به زمین عبوری از ژنراتور محدود شده و مشکلی از نظر افزایش قابل توجه جریان خطای فاز به زمین وجود ندارد. یعنی می‌توان ژنراتور فشار ضعیف را با مقاومت زمین حدود ۵ اهم، به زمین متصل نمود. در صورت بروز اتصال کوتاه فاز به نول ممکن است جریان خطا بیش از حد مجاز گردد. در چنین حالتی می‌توان در صورت نیاز

از راکتور یا کنتاکتور به صورت سری با سیم نول ژنراتور استفاده نمود. کنتاکتور در حالت بهره‌برداری جزیره‌ای بسته شده و در حالت اتصال مولد به شبکه باز می‌شود. اگر از این روش استفاده نشود، می‌توان از رله EF در محل اتصال نوترال ژنراتور به زمین استفاده کرد.

ج) مولد فشار ضعیف با ظرفیت پایین، معمولا به طور مستقیم به شبکه فشار ضعیف (۴۰۰ ولت) متصل می‌شود (Bus-Connected) ولی ژنراتورهای با ظرفیت بالا که اتصال مستقیم آنها به شبکه ۴۰۰ ولت باعث افزایش قابل توجه سطح اتصال کوتاه می‌شود، از طریق ترانسفورماتورهای واسطه به شبکه فشارمتوسط (۲۰ کیلوولت) متصل می‌شوند (Unit-Connected).

د) در شبکه‌های مستقیم زمین شده، مقاومت زیاد در محل اتصال به زمین مطلوب نمی‌باشد. لذا با توجه به مقاومت ویژه خاک و تا حدودی بر اساس ظرفیت نامی ژنراتور، بایستی از میله زمین، چاه یا شبکه زمین استفاده نمود. مقاومت محل اتصال به زمین در بیشترین حالت بایستی کمتر از ۲۰ اهم باشد و ترجیحا کمتر از ۵ اهم باشد. البته یکی از عوامل مهم در تعیین مقدار مجاز مقاومت زمین، اطمینان از عملکرد رله‌های حفاظتی است.

برای ژنراتورهای متصل به فشار ضعیف، همانطور که بیان شد چون ظرفیت این مولدها عمدتا کم است لذا در حالت جزیره‌ای (مستقل از شبکه) می‌توان نوترال مولد را مستقیما یا با امپدانس پایین به شبکه متصل نمود. اما در ژنراتورهای متصل به فشار متوسط، به دلیل بزرگ بودن جریان خطای فاز به زمین ژنراتور و صدمات مکانیکی ناشی از آن در ژنراتور با ظرفیت بالا، حتی در صورت بهره‌برداری مستقل از شبکه، نوترال ژنراتور مستقیما زمین نشده و با امپدانس و به ویژه با مقاومت زمین می‌شود. در ژنراتورهای متصل به شبکه فشارمتوسط، در صورتی که ژنراتور گاهی به صورت موازی با شبکه و گاهی جزیره‌ای کار کند و اتصال ژنراتور از نوع Bus-Connected باشد، می‌توان نوترال ژنراتور را توسط NGR و سکسیونر سری با آن به زمین وصل نمود. در حالت جزیره‌ای سکسیونر مذکور وصل شده و شبکه با مقاومت کم زمین می‌شود. در حالت بهره‌برداری موازی با شبکه، می‌توان سکسیونر را باز نمود تا جریان خطای فاز به زمین کاهش یابد، کاهش حساسیت رله‌های حفاظتی ایجاد نشود و همچنین آسیب به هسته ژنراتور در اثر خطای فاز به زمین در سیم‌پیچ استاتور، حداقل شود.

۸-۴- مطالعات سیستم زمین برای ژنراتورهای بادی

ژنراتورهای بادی عمدتا به صورت ستاره در سیستم‌های توزیع استفاده می‌گردند. ترانسفورماتور واسطه متصل کننده این نوع ژنراتورها به شبکه اصلی از نوع ستاره- مثلث بوده که سمت فشارضعیف آن ستاره است. برای سیستم زمین مولدهای بادی به طور عمده چهار روش وجود دارد:

الف) نوترال مستقیم زمین شده: در این روش اتصال در صورتی که خطای فاز به زمین در سیستم ایجاد شود، جریان خطای شدیدی در مولد ایجاد می‌شود. این امر موجب آسیب رسیدن به ورقه‌های ژنراتور شده و موجب تخریب عایقی آن می‌گردد. همچنین در صورتی که مولد و ترانسفورماتور واسطه آن هر دو به طور مستقیم زمین شوند، در این صورت امکان ایجاد جریان هارمونیک بالا در سیستم وجود خواهد داشت. لذا استفاده از این روش در حالت کلی توصیه نمی‌گردد.

ب) نوترال زمین شده با مقاومت کم: در صورتیکه از این روش استفاده شود، میزان آسیب به تجهیزات نسبت به روش اول کاهش می‌یابد، زیرا به دلیل وجود مقاومت کمی در نوترال ژنراتور، میزان خطای اتصال کوتاه در هنگام خطای فاز به زمین کاهش می‌یابد. اما بعد از وقوع خطا بایستی مولد تریپ داده و از شبکه ایزوله شده و پس از رفع خطا مجددا به شبکه متصل شود.

ج) نوترال زمین شده با مقاومت زیاد: در این نوع اتصال زمین، میزان جریان خطا به دلیل وجود مقاومت بالا در مسیر جریان کاهش یافته لذا احتمال آسیب رسیدن به تجهیزات به هنگام وقوع خطای تکفاز به زمین کاهش می‌یابد. در این روش همچنین میزان حساسیت رله‌های حفاظتی به خطاهای رخ داده بالاتر بوده لذا استفاده از این روش توصیه می‌گردد. مزیت دیگر استفاده از سیستم زمین با امپدانس زیاد، نسبت به سیستم زمین با امپدانس کم این است که در صورت وقوع خطا در شبکه فشار ضعیف، میزان مشارکت مولد در تامین جریان محل خطا کاهش یافته و لذا مولد آسیب کمتری می‌بینند.

د) نوترال زمین نشده: این نوع سیستم زمین زمانی استفاده می‌شود که طول کابل کشیده شده از مولد تا ترانسفورماتور واسطه کوتاه باشد. زیرا در صورت استفاده از این نوع سیستم زمین، در هنگام وقوع خطای فاز به زمین در سیستم، ممکن است اضافه ولتاژهای گذرا در مولد و نیز فرورزونانس در شبکه ایجاد گردد. زمانی که اتصال بین مولد و ترانسفورماتور واسطه از نوع کابلی باشند، به دلیل وجود ظرفیت خازنی بالا در کابل، استفاده از این روش زمین کردن می‌تواند میزان اضافه ولتاژهای گذرا و احتمال پدیده فرورزونانس را افزایش دهد. لذا اگر طول کابل بین مولد و ترانسفورماتور آن بزرگ باشد، استفاده از این روش توصیه نمی‌گردد.

به منظور رعایت سیستم زمین برای بدنه ژنراتور بادی نیز مشابه با مولد سنکرون دو روش عمده TT و TN وجود دارد که در بخش مربوط به سیستم زمین مولد سنکرون به طور کامل شرح داده شده است. استفاده از روش سیستم زمین TT به دلیل کاهش جریان خطا متداول تر از روش TN است.

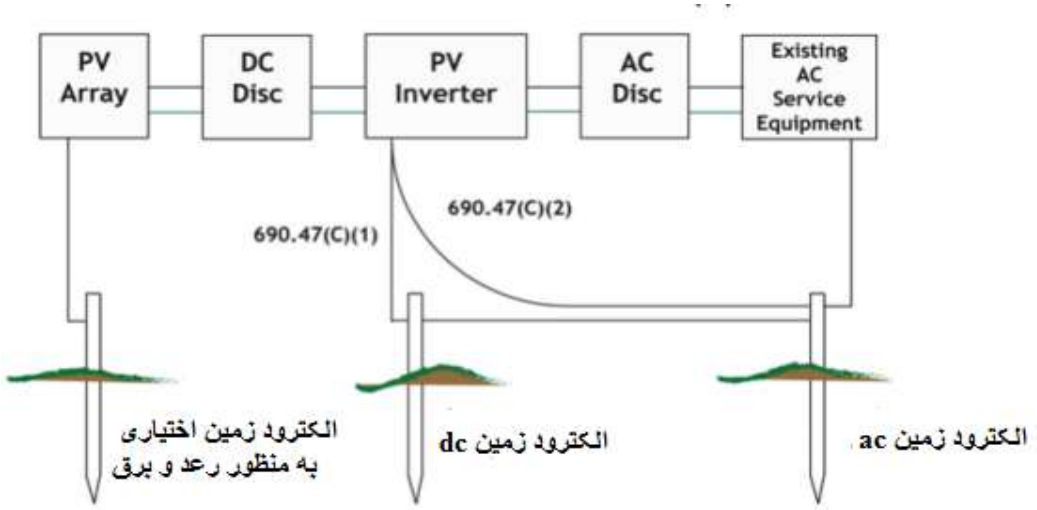
۸-۵- مطالعات سیستم زمین برای مولدهای فتوولتاییک

در سیستم‌های فتوولتاییک به دلیل وجود اینورتر و اجزای دیگر، نحوه زمین کردن مولد کمی با مولدهای سنکرون و بادی متفاوت است. استاندارد NEC 690.47(C) روش‌هایی را به منظور زمین کردن سیستم‌های تولید شامل بخش‌های ac و dc بیان کرده است. این استاندارد بیان می‌دارد که مولدهایی مانند فتوولتاییک که شامل بخش‌های ac و dc می‌باشند میبایستی شامل یک سیستم جداگانه زمین برای بخش dc باشند. این سیستم زمین dc بایستی با یکی از روش‌های زیر با سیستم زمین ac ارتباط داشته باشد:

الف) سیستم الکترود زمین dc مرتبط با سیستم الکترود زمین ac: در این نوع سیستم زمین کردن، هرکدام از بخش‌های dc و ac توسط دو الکترود جداگانه به زمین سراسری متصل می‌گردند و این دو الکترود به وسیله یک جامپر با همدیگر ارتباط پیدا می‌کنند.((1) (NEC690.47(C)

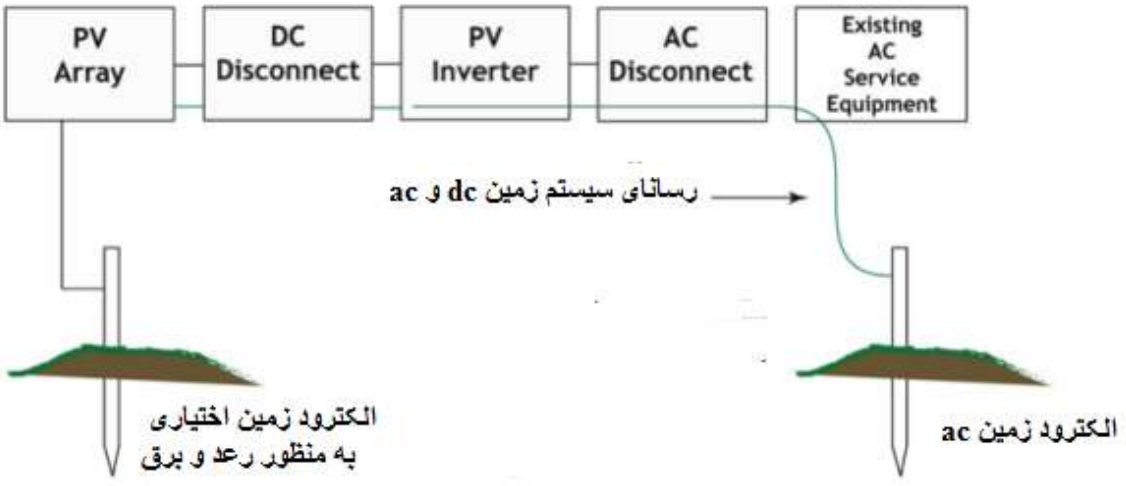
ب) سیستم الکترود زمین مشترک بین بخش dc و ac :در این نوع سیستم زمین، بخش dc مولد، از طریق یک جامپر یا رسانا، به الکترود زمین موجود در سیستم ac متصل شده و لذا در این حالت الکترودهای جداگانه برای سیستم زمین وجود نخواهد داشت.((2) (NEC690.47(C)

در هرکدام از این روش‌ها، استفاده اختیاری از یک الکترود زمین در آرایه‌های فتوولتاییک نیز به منظور حفاظت در مقابل حوادثی از قبیل رعد و برق پیشنهاد می‌شود. در شکل (۸-۳) هرکدام از این روش‌ها نشان داده شده‌اند.



شکل (۸-۳): دو روش زمین کردن مولدهای فتوولتاییک

ج) سیستم ترکیبی زمین بین ac و dc: در این روش نوترال‌های مربوط به هرکدام از بخش‌های مولد فتوولتاییک از طریق یک باس بار زمین در بخش ac و توسط یک الکترود مشترک، به زمین حفاظتی متصل می‌گردند. در این روش حفاظتی، از لحاظ ابعاد تجهیزات، نسبت به روش‌های قبلی، ابعاد بزرگتری از رساناها و اتصالات نیازمند است. در این روش نیز همانند روش‌های قبلی می‌توان از یک الکترود زمین اختیاری به منظور حفاظت آرایه‌های فتوولتاییک در مقابل رعد و برق استفاده کرد. در شکل (۸-۴) این نوع سیستم نشان داده شده است.



شکل (۸-۴): روش ترکیبی زمین کردن مولدهای فتوولتاییک

لازم به ذکر است که کاربرد هرکدام از روش‌های بالا، بسته به توصیه‌های سازنده مولد و نیز میزان هزینه‌های مصرفی برای مولدهای مختلف متفاوت بوده و نمی‌توان یک دستورالعمل دقیق و خاصی برای زمین کردن مولدهای فتوولتاییک به کار برد. البته برخی از قواعد از قبیل محدود نمودن جریان خطا و نیز عدم کاهش حساسیت رله‌های حفاظتی میبایستی در طراحی سیستم زمین رعایت گردند.

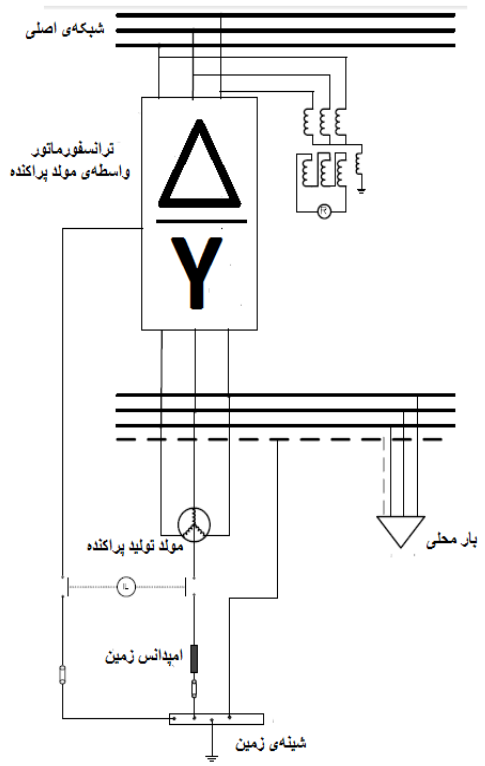
۸-۶- مطالعات سیستم زمین برای تولیدات پراکنده بر اساس روش‌های اتصال مختلف

طراحی سیستم زمین برای مولدهای تولید پراکنده به طرح‌های مختلف اتصال به شبکه بستگی دارد، به گونه‌ای که عواملی از قبیل تعداد مولدها، سیم‌بندی ترانسفورماتورهای واسطه و نیز موازی بودن یا جدا بودن از شبکه بر روی طراحی سیستم زمین تاثیر گذارند که در این قسمت به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

۸-۶-۱- مولد تک واحدی و جدا از شبکه

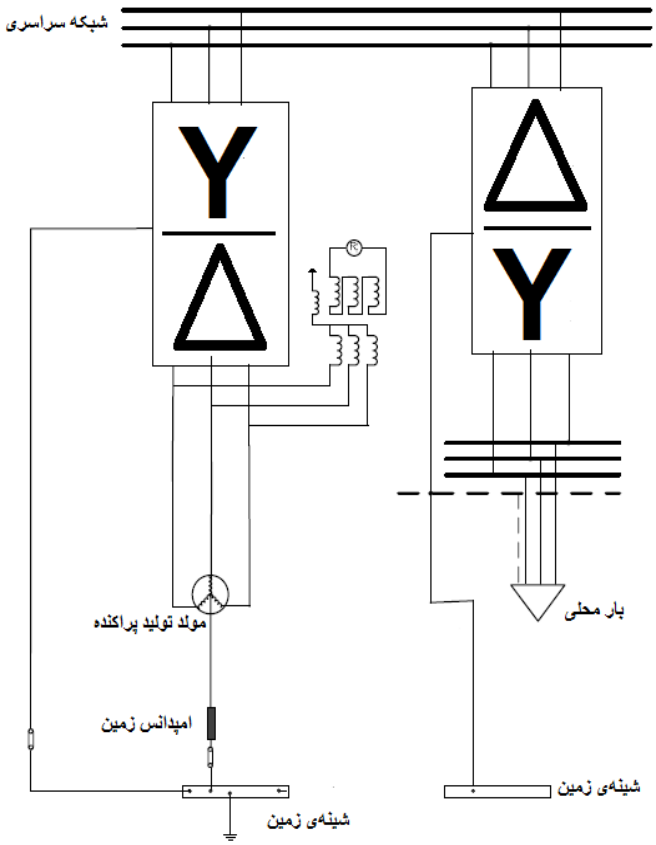
ترانسفورماتور واسطه متصل کننده مولد به شبکه می‌تواند به دو صورت مثلث-ستاره زمین شده (Dyn) یا ستاره زمین شده-مثلث (YNd) باشد که در این بخش به بررسی و ارزیابی هرکدام از آنها خواهیم پرداخت:

الف) ترانسفورماتور واسطه از نوع Dyn باشد: در این نوع اتصال که عمدتا در کشور ایران رایج است، زمین کردن مستقیم یا با امپدانس مولد به اجزای سیستم و دستورالعمل‌های سازنده بستگی دارد. در این اتصال، چون سمت فشار متوسط ترانس از نوع مثلث است، لذا به منظور حفاظت وسایل تکفاز سمت فشار ضعیف از اضافه ولتاژ در هنگام وقوع خطای تکفاز به زمین در فشار متوسط، از سه ترانس ولتاژ در سمت فشار متوسط ترانس اصلی استفاده می‌شود که اولیه آن‌ها به صورت ستاره و ثانویه آن‌ها به صورت مثلث باز شامل رله به هم متصل شده‌اند. همچنین اگر خطای تکفاز به زمین در سمت فشار ضعیف ترانس واسطه رخ دهد، در صورتی که هم مولد و هم ترانس واسطه زمین شوند میزان جریان خطا، بیشتر از حالت زمین نشدن سمت ستاره ترانس واسطه است. پس بهتر است در این روش به منظور برقراری نیازمندی‌های حفاظتی، نوترال ترانس واسطه زمین نشود. البته این امر ممکن است منجر به وجود جریان هارمونیک سوم در هنگام خطای فاز به زمین گردد .این نوع اتصال در شکل (۸-۵) نمایش داده شده است.



شکل (۸-۵): زمین کردن مولد تکی جدا از شبکه با ترانس واسطه Dyn

ب) ترانسفورماتور واسطه از نوع YNd باشد: در این حالت نیز نحوه زمین کردن مستقیم یا با امپدانس مولد، به اجزای سیستم و دستورالعمل‌های سازنده بستگی دارد. در این حالت در صورتی که خطای فاز به زمین در سمت فشار ضعیف رخ دهد، به دلیل اینکه سمت فشار ضعیف ترانس واسطه از نوع مثلث است، جریان خطا کمتر از حالت قبل می‌باشد. در این حالت به منظور تشخیص خطا در فشار ضعیف، مشابه تشخیص خطا در فشار متوسط حالت قبل، از سه ترانس حفاظتی با اتصال ستاره‌زمین-شده-مثلث باز شامل رله حفاظتی استفاده می‌گردد. در این حالت به دلیل وجود اتصال مثلث در سمت فشار ضعیف، مشکل هارمونیک سوم وجود ندارد. شکل (۸-۶) نحوه این نوع اتصال را نشان داده است:



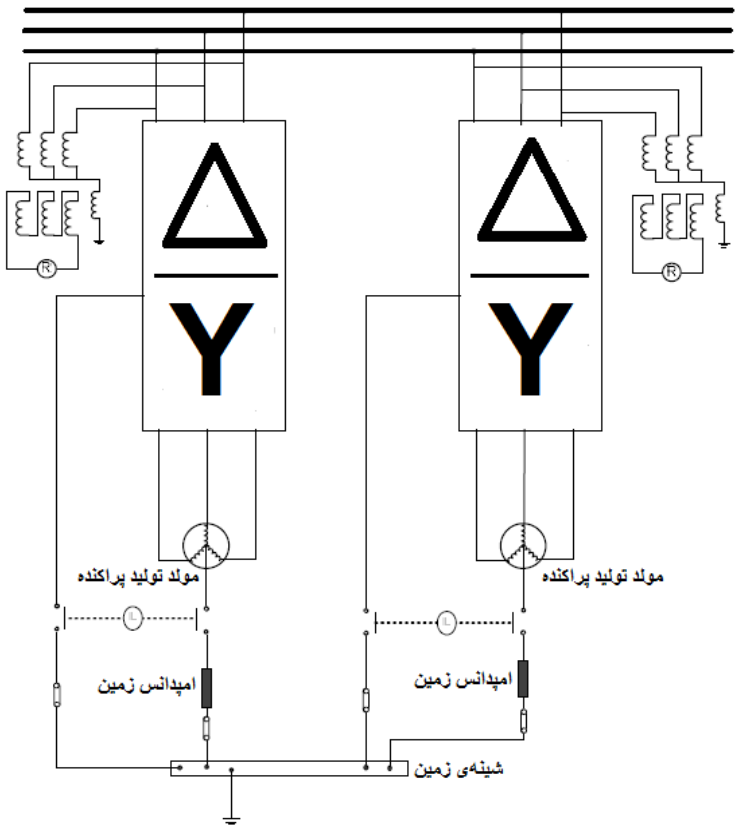
شکل (۸-۶): زمین کردن مولد تکی جدا از شبکه با ترانس واسطه YNd

۸-۶-۲- مولدهای چند واحدی و جدا از شبکه

ترانسفورماتور واسطه متصل کننده هرکدام از مولدها به شبکه، می‌تواند به دو صورت مثلث-ستاره-زمین شده (Dyn) یا ستاره‌زمین شده-مثلث (YNd) باشد که در این بخش به بررسی هرکدام از آنها خواهیم پرداخت:

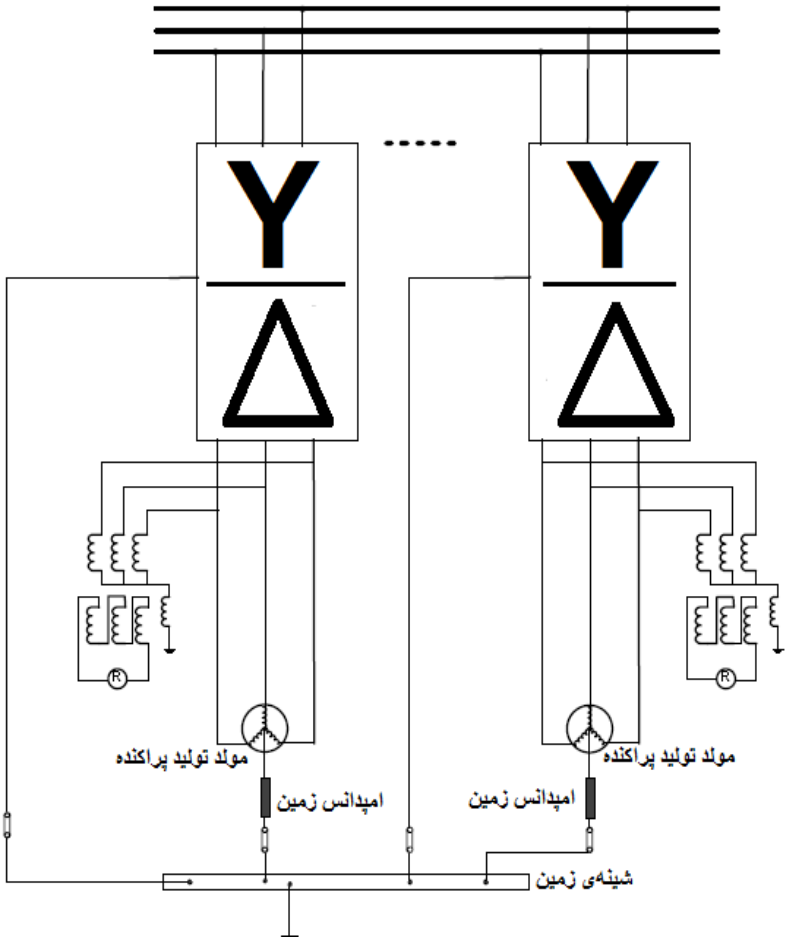
الف) ترانسفورماتورهای واسطه از نوع Dyn باشند: در این حالت نیز نحوه زمین کردن مستقیم یا با امپدانس مولدها، به اجزای سیستم و دستورالعمل‌های سازنده بستگی دارد. اگر نوترال مولدها و ترانس‌ها همه مستقیم زمین شوند، در صورت وقوع اتصال کوتاه در سمت فشار ضعیف، جریان خطای شدیدی ایجاد می‌شود. همچنین در این حالت جریان‌های هامونیکی مرتبه سوم در نوترال ترانس‌ها خواهیم داشت که ممکن است موجب عملکرد نادرست رله‌ها شود (اگر دامنه شان بزرگ باشد). همچنین ممکن است که مشکلاتی از قبیل پدیده فرورزونانس در این حالت اتصال رخ دهد. لذا در این روش بهتر

است که نوترال ترانسفورماتورهای واسطه زمین نشوند. در شکل (۸-۷) نحوه این نوع اتصال نشان داده شده است:



شکل (۸-۷): زمین کردن مولدهای چند واحدی جدا از شبکه با ترانس واسطه Dyn

ب) ترانسفورماتورهای واسطه از نوع YNd باشند: در این حالت نیز نحوه زمین کردن مستقیم یا با امپدانس مولدها به اجزای سیستم و دستورالعمل‌های سازنده بستگی دارد. در این روش چون سمت فشار ضعیف ترانس واسطه از نوع مثلث است، مشکلاتی از قبیل فرورزونانس در شبکه و نیز وجود هارمونیک سوم در سمت فشار ضعیف وجود نخواهد داشت. در شکل (۸-۸) نحوه این نوع اتصال نشان داده شده است:

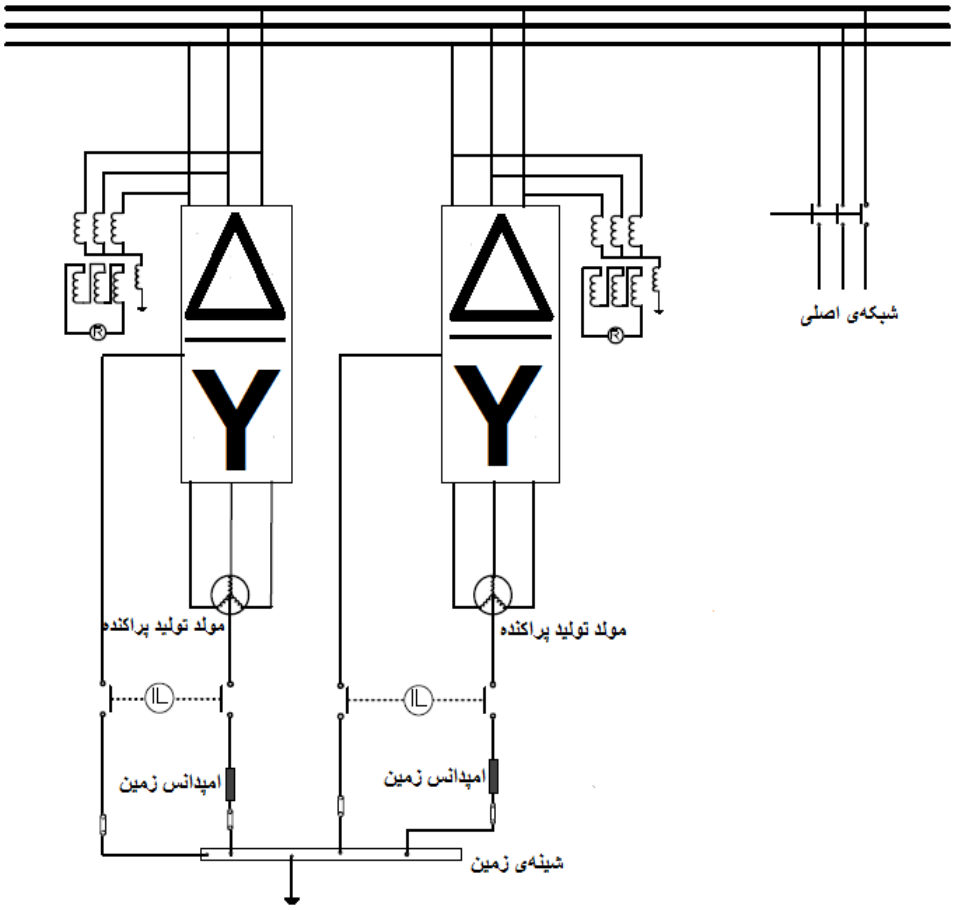


شکل (۸-۸): زمین کردن مولدهای چند واحدی جدا از شبکه با ترانس واسطه YNd

۸-۶-۳- مولدهای چند واحدی و موازی با شبکه

الف) ترانسفورماتورهای واسطه از نوع Dyn باشند: در این حالت نیز نحوه زمین کردن مستقیم یا با امپدانس مولدها، به اجزای سیستم و دستورالعمل‌های سازنده بستگی دارد. همانند حالت جدا از شبکه، به دلیل وجود اتصال مثلث در سمت فشار متوسط، هارمونیک سوم به سمت شبکه بالادست وجود ندارد. اما در صورت وقوع خطای فاز به زمین در سمت فشار متوسط، ممکن است در سمت فشار ضعیف اضافه ولتاژ گذرا در فازهای سالم ایجاد شود که این امر ممکن است به مصرف کننده‌های تکفاز آسیب رساند. لذا مشابه حالت جدا از شبکه، از سه ترانس ولتاژ تکفاز با اتصال ستاره‌زمین شده-مثلث باز شامل رله حفاظتی، در سمت فشار متوسط استفاده می‌شود. همچنین در این نوع اتصال، احتمال به وجود آمدن فرورزونانس در صورت استفاده از کابل در فشار متوسط وجود خواهد داشت. در صورت وقوع خطای فاز به زمین در سمت فشار ضعیف، اگر نوترال ترانس‌ها و مولدها هر دو زمین شده باشند، جریان خطای بسیار شدیدی در محل خطا ایجاد می‌شود که موجب آسیب بیشتر به تجهیزات می‌گردد. لذا در این حالت بهتر

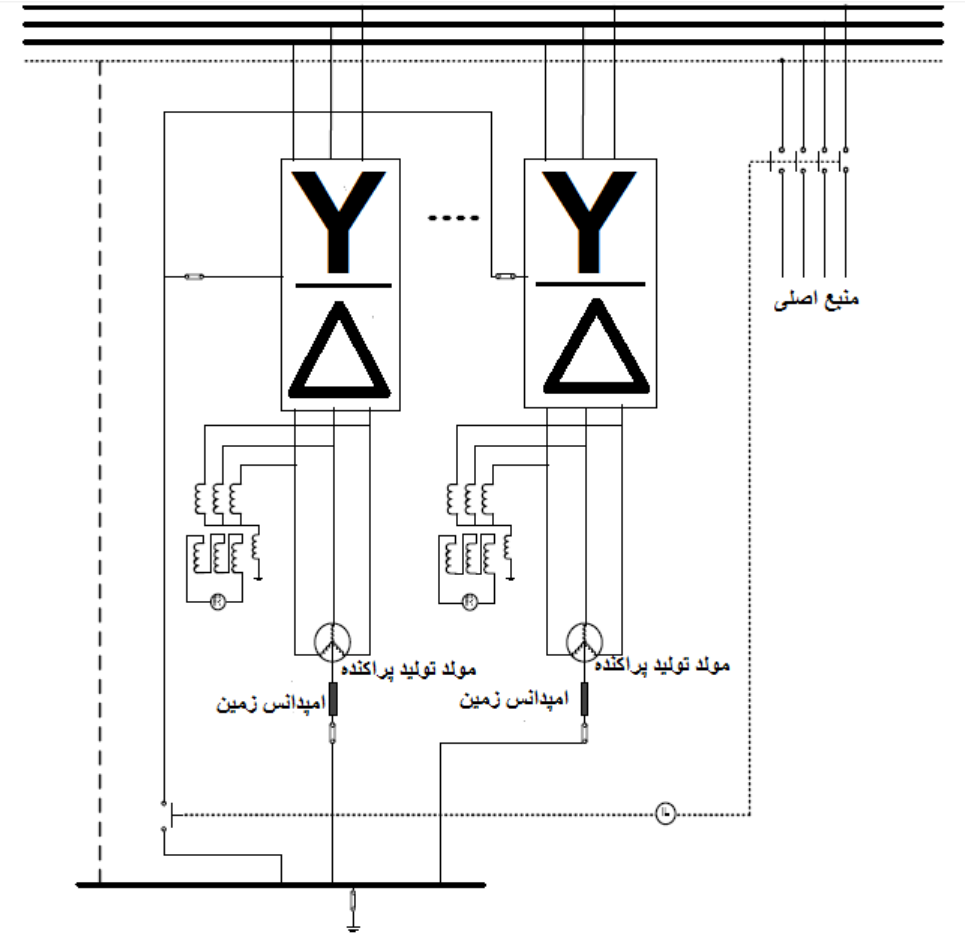
است نوترال ترانس‌های واسطه زمین نشوند یا اینکه ترانس‌های واسطه از نوع ستاره‌زمین شده-مثلث باشند. در شکل (۸-۹) نحوه این نوع اتصال نشان داده شده است:



شکل (۸-۹): زمین کردن مولدهای چند واحدی موازی شبکه با ترانس واسطه Dyn

ب) ترانسفورماتورهای واسطه از نوع YNd باشند: در این حالت نیز نحوه زمین کردن مستقیم یا با امپدانس مولدها، به اجزای سیستم و دستورالعمل‌های سازنده بستگی دارد. در این حالت چون اتصال ترانس‌های واسطه در سمت فشار متوسط از نوع ستاره است، لذا در صورت وقوع خطای فاز به زمین در سمت فشار متوسط، در صورتی که نوترال ترانس‌های واسطه زمین شوند، مشکلات هارمونیک سوم و افزایش جریان خطا وجود خواهد داشت و لذا عملکرد رله‌های حفاظتی دچار مشکل خواهد شد. لذا بایستی در هنگام کار موازی با شبکه، نوترال ترانس‌ها باز بوده و در هنگام کار جدا از شبکه، به زمین وصل باشند. همچنین به منظور تشخیص خطای فاز به زمین در سمت فشار ضعیف، چون سیم‌پیچی فشار ضعیف ترانس‌های واسطه از نوع مثلث هستند، لذا بایستی از سه ترانس ولتاژ تکفاز از نوع ستاره-

زمین‌شده-مثلث باز شامل رله حفاظتی، به منظور تشخیص خطای تکفاز در سمت فشار ضعیف استفاده گردد. در شکل (۸-۱۰) نحوه این نوع اتصال نشان داده شده است:



شکل (۸-۱۰): زمین کردن مولدهای چند واحدی موازی شبکه با ترانس واسطه YNd

۸-۷- قیود

- سیستم زمین متناسب با طرح حفاظتی مورد نظر طراحی گردد. نحوه زمین کردن DG نباید موجب بر هم خوردن هماهنگی حفاظتی سیستم شود.
- سیستم زمین طوری طراحی شود که جریان خطا را در محدوده مجاز نگه دارد و مانع از آسیب رسیدن به تجهیزات شود.
- نحوه زمین کردن DG نباید باعث ایجاد اضافه ولتاژهای غیرمجاز شود.
- سیستم زمین به گونه‌ای طراحی شود که بهره‌برداری ایمن از شبکه را میسر سازد.

۸-۸- ورودی‌ها

- نحوه اتصال به زمین نقطه نوترال DG
- نوع اتصال ترانسفورماتور متصل‌کننده DG به شبکه
- در نظر گرفتن سناریوهای مختلف (بهره‌برداری از دو یا چند DG به صورت موازی، DG مجـزا از شبکه یا متصل به شبکه و ...)

۸-۹- خروجی‌ها

- میزان جریان خطا
- عملکرد تجهیزات حفاظتی

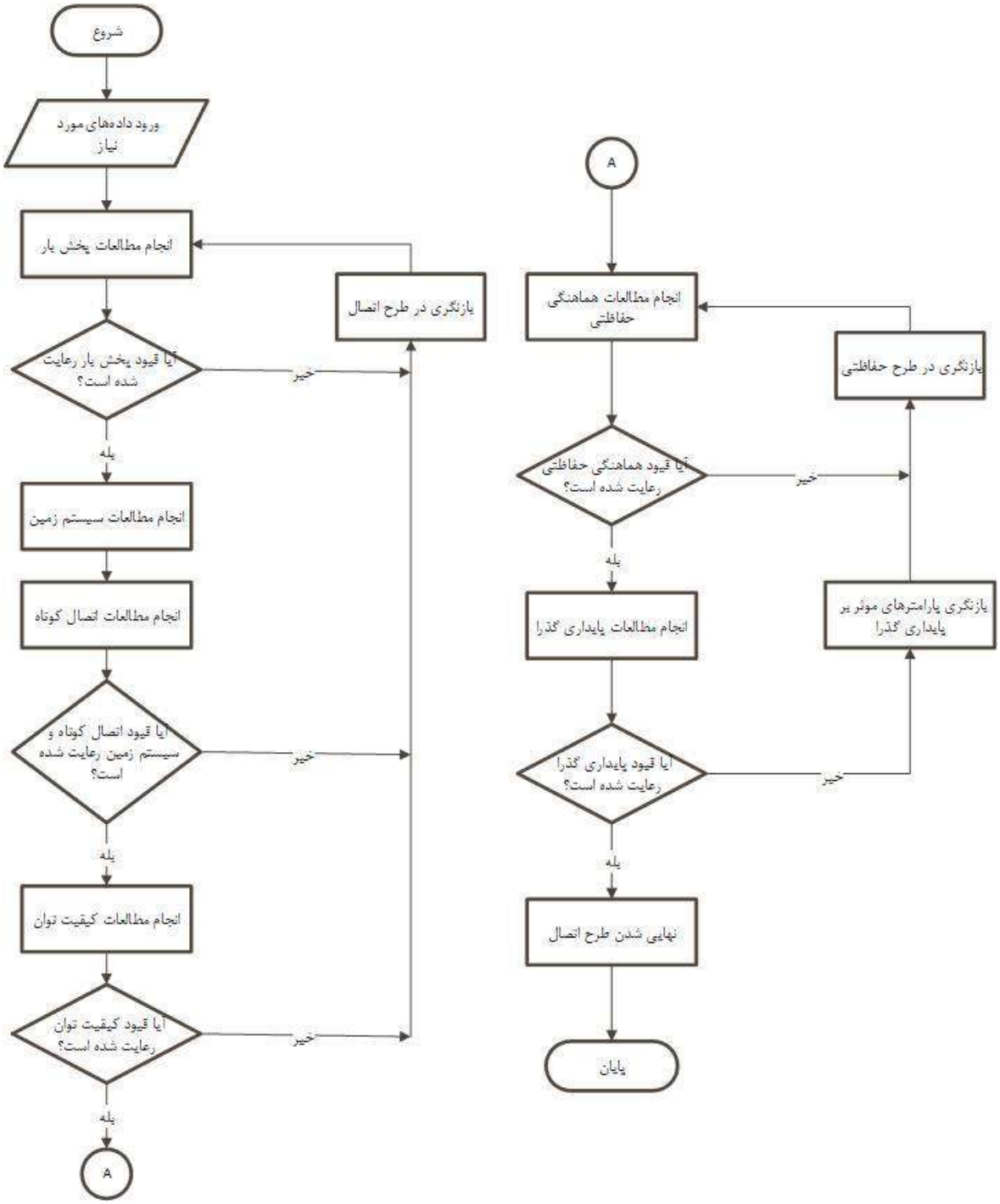
۸-۱۰- نتیجه‌گیری

در این بخش، نکات و ملاحظات مربوط به مطالعات سیستم زمین مرتبط با انواع منابع تولید پراکنده بیان شد. همچنین تأثیر عوامل مختلف از قبیل تعداد مولدها (تک واحدی یا چند واحدی)، سیم‌بندی ترانسفورماتورهای واسطه و نیز موازی بودن یا جدا بودن از شبکه بر روی طراحی سیستم زمین ارائه گردید.

فصل نهم

جمع‌بندی انجام مطالعات

روش انجام انواع مطالعات اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه مشتمل بر قیود، ورودی‌ها و خروجی‌های هر یک از مطالعات در فصول قبل ارائه گردید. فلوچارت نحوه انجام مطالعات در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۹-۱): فلوچارت نحوه انجام مطالعات اتصال به شبکه