شرکت سهامی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق

(توانیر)

# راهنمای تعیین حداقل تجهیزات جانبی منابع تولید پراکنده و مشخصات فنی آنها

**دریافت‌کنندگان سند:**

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

ویرایش: ۱

( تاریخ بازنگری نهایی : بهمن ماه ۱۳۹۲ )

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

| تهیه‌کننده: | تائید کننده: | تصویب کننده: |
|---|---|---|
| امضاء | امضاء | امضاء |

# فهرست مطالب

**فصل اول: کلیات** ..... ۱

۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- تقسیم‌بندی منابع تولید پراکنده ..... ۲

**فصل دوم: حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه برق به تفکیک طرح اتصال** ..... ۷

۲-۱- مقدمه ..... ۸

۲-۲- منابع تولید پراکنده کلاس (۱) و طرح اتصال (۱) ..... ۸

۲-۲-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۹

۲-۳- منابع تولید پراکنده کلاس (۱) و طرح اتصال (۲) ..... ۱۷

۲-۳-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۱۷

۲-۴- منابع تولید پراکنده کلاس (۲) و طرح اتصال (۲) ..... ۲۵

۲-۴-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۲۵

۲-۵- منابع تولید پراکنده کلاس (۲) و طرح اتصال (۳) ..... ۳۴

۲-۵-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۳۴

۲-۶- منابع تولید پراکنده کلاس (۳): طرح اتصال (۳) ..... ۴۶

۲-۶-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۴۷

۲-۷- منابع تولید پراکنده کلاس (۴) و طرح اتصال (۳) ..... ۵۸

۲-۷-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۵۹

۲-۸- منابع تولید پراکنده کلاس (۴) و طرح اتصال (۴) ..... ۶۹

۲-۸-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۷۰

۲-۹- منابع تولید پراکنده کلاس (۵) و طرح اتصال (۴) ..... ۸۱

۲-۹-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۸۲

۲-۱۰- منابع تولید پراکنده کلاس (۵) و طرح اتصال (۵) ..... ۹۱

۲-۱۰-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی ..... ۹۲

۲-۱۱- جمع‌بندی کلی ..... ۱۰۳
۲-۱۲- ملاحظات کلی ..... ۱۰۶
**فصل سوم : مشخصات فنی مورد نیاز تجهیزات جانبی جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه برق** ..... ۱۰۸
۳-۱- مقدمه ..... ۱۰۹
۳-۲- مشخصه‌های فنی کلیدهای قدرت ..... ۱۱۰
۳-۳- مشخصات فنی سکسیونر ..... ۱۱۱
۳-۴- مشخصات فنی ریکلوزر ..... ۱۱۱
۳-۵- مشخصات فنی تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ ..... ۱۱۲
۳-۶- مشخصات فنی تجهیزات سنکرونیزاسیون ..... ۱۱۲
۳-۷- مشخصات فنی رله اضافه و زیر ولتاژ ..... ۱۱۳
۳-۸- مشخصات فنی رله فرکانسی ..... ۱۱۳
۳-۹- مشخصات فنی رله اضافه جریان ..... ۱۱۴
۳-۱۰- مشخصات فنی رله دیفرانسیل ژنراتور ..... ۱۱۵
۳-۱۱- مشخصات فنی رله حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور ..... ۱۱۵
۳-۱۲- مشخصات فنی رله توان معکوس ..... ۱۱۶
۳-۱۳- مشخصات فنی رله‌های اضافه و زیر تحریک ..... ۱۱۷
۳-۱۴- مشخصات فنی رله خطای زمین محدود شده (R.E.F) ..... ۱۱۷
۳-۱۵- مشخصات فنی رله اضافه جریان توالی منفی ..... ۱۱۸
۳-۱۶- مشخصه‌های رله اضافه ولتاژ توالی منفی ..... ۱۱۸
۳-۱۷- مشخصات فنی رله اضافه جریان جهتی ..... ۱۱۹
۳-۱۸- مشخصات فنی رله حفاظت اضافه بار استاتور ..... ۱۱۹
۳-۱۹- مشخصات فنی رله قفل‌کننده ..... ۱۲۰
۳-۲۰- مشخصات فنی رله تعادل ولتاژ ..... ۱۲۱
۳-۲۱- مشخصات فنی ترانسفورماتورهای جریان ..... ۱۲۱
۳-۲۲- مشخصات فنی ترانسفورماتور ولتاژ ..... ۱۲۲
۳-۲۳- مشخصات فنی آمپرمتر ..... ۱۲۲

۳-۲۴- مشخصات فنی ولت‌متر ..... ۱۲۳
۳-۲۵- مشخصات فنی واتمتر ..... ۱۲۴
۳-۲۶- مشخصات فنی وارمتر ..... ۱۲۵
۳-۲۷- مشخصات فنی فرکانس‌متر ..... ۱۲۵
۳-۲۸- مشخصات فنی کسینوس فی‌متر ..... ۱۲۶
۳-۲۹- مشخصات فنی ترانسفرتریپ ..... ۱۲۷
۳-۳۰- مشخصات فنی پایانه‌های راه دور (RTU) ..... ۱۲۷
۳-۳۱- مشخصات فنی تجهیزات ارتباطی مستقر در هر ایستگاه ..... ۱۲۸
۳-۳۲- مشخصات فنی ترانسدیوسر ..... ۱۲۸
پیوست الف ..... ۱۲۹

## فهرست اشکال

شکل (۱-۱): طرح‌های اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه ..... ۶
شکل (۲-۱): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۱) ..... ۸
شکل (۲-۲): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در مولدهای پراکنده تکفاز کمتر از ۵ کیلووات ..... ۱۳
شکل (۲-۳): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در مولدهای پراکنده سه فاز کلاس ۱ ..... ۱۳
شکل (۲-۴): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۱ از طریق طرح ۱ به شبکه (دارای بار محلی) ..... ۱۴
شکل (۲-۵): طرح اتصال تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۱ از طریق طرح ۱ به شبکه (بدون بار محلی) ..... ۱۵
شکل (۲-۶): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۲) ..... ۱۷
شکل (۲-۷): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۲ کلاس ۱ ..... ۲۱
شکل (۲-۸): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۱ از طریق طرح ۲ به شبکه ..... ۲۳
شکل (۲-۹): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۲)..... ۲۵
شکل (۲-۱۰): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۲ کلاس ۲ ..... ۳۰
شکل (۲-۱۱): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۲ از طریق طرح ۲ به شبکه ..... ۳۲
شکل (۲-۱۲): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۳) ..... ۳۴
شکل (۲-۱۳): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز ..... ۳۸
شکل (۲-۱۴): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۳ ..... ۴۰
شکل (۲-۱۵): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۲ از طریق طرح ۳ به شبکه ..... ۴۳
شکل (۲-۱۶): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۳) ..... ۴۶
شکل (۲-۱۷): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز ..... ۵۰
شکل (۲-۱۸): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۳ از طریق طرح ۳ به شبکه توزیع ..... ۵۵
شکل (۲-۱۹): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۳) ..... ۵۸

شکل (۲-۲۰): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز ..... ۶۲
شکل (۲-۲۱): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۴ از طریق طرح ۳ به شبکه توزیع ..... ۶۷
شکل (۲-۲۲): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۴) ..... ۶۹
شکل (۲-۲۳): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز ..... ۷۴
شکل (۲-۲۴): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۴ ..... ۷۶
شکل (۲-۲۵): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۴ از طریق طرح ۴ به شبکه توزیع ..... ۷۹
شکل (۲-۲۶): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۴) ..... ۸۱
شکل (۲-۲۷): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز ..... ۸۶
شکل (۲-۲۸): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۵ از طریق طرح ۴ به شبکه توزیع ..... ۸۹
شکل (۲-۲۹): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۵) ..... ۹۱
شکل (۲-۳۰): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز ..... ۹۶
شکل (۲-۳۱): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۵ ..... ۹۸
شکل (۲-۳۲): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۵ از طریق طرح ۵ به شبکه توزیع ..... ۱۰۱

## فهرست جداول

جدول (۱-۱): طبقه‌بندی مولدهای مقیاس کوچک با توجه به مقادیر نامی ..... ۳
جدول (۱-۲): طرح‌های مجاز برای اتصال $DG$ به شبکه با توجه به قدرت نامی ..... ۴
جدول (۲-۱): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$های کلاس (۱ طرح (۱)..... ۱۱
جدول (۲-۲): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$های کلاس (۱) طرح (۲)..... ۲۲
جدول (۲-۳): مشخصات ترانسفورماتور جریان فشارضعیف ..... ۳۰
جدول (۲-۴): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$های کلاس (۲) طرح (۲)..... ۳۱
جدول (۲-۵): مشخصات ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط ..... ۴۱
جدول (۲-۶): مشخصات ترانسفورماتور جریان فشار متوسط ..... ۴۱
جدول (۲-۷): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۲) طرح (۳) ..... ۴۲
جدول (۲-۸): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۳) طرح (۳) ..... ۵۳
جدول (۲-۹): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۴) طرح (۳) ..... ۶۵
جدول (۲-۱۰): مشخصات ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط ..... ۷۷
جدول (۲-۱۱): مشخصات ترانسفورماتور جریان فشار متوسط ..... ۷۷
جدول (۲-۱۲): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۴) طرح (۴) ..... ۷۸
جدول (۲-۱۳): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۵) طرح (۴)..... ۸۸
جدول (۲-۱۴): مشخصات ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط ..... ۹۹
جدول (۲-۱۵): مشخصات ترانسفورماتور جریان فشار متوسط ..... ۹۹
جدول (۲-۱۶): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۵) طرح (۵) ..... ۱۰۰
جدول (۲-۱۷): حداقل تجهیزات کنترل و کلیدزنی پیشنهادی برای اتصال $DG$ در کلاس‌ها و طرحهای مختلف ..... ۱۰۳
جدول (۲-۱۸): حداقل تجهیزات حفاظتی پیشنهادی برای اتصال $DG$ در کلاس‌ها و طرحهای مختلف ..... ۱۰۳
جدول (۲-۱۹): حداقل تجهیزات اندازه‌گیری پیشنهادی برای اتصال $DG$ در کلاس‌ها و طرحهای مختلف ..... ۱۰۵
جدول (۲-۲۰): حداقل تجهیزات مانیتورینگ پیشنهادی برای اتصال $DG$ در کلاس‌ها و طرحهای مختلف ..... ۱۰۵

# فصل اول

# کلیات

## ۱-۱- مقدمه

به‌طور کلی به تجهیزاتی که جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و امکان بهره‌برداری صحیح، مطلوب و ایمن از شبکه و *DG* را فراهم می‌کنند، تجهیزات جانبی فنی اطلاق می‌شود. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان این تجهیزات را بر اساس نوع و وظیفه‌ای که بر عهده دارند به چهار دسته تقسیم‌بندی نمود، که عبارتند از:

- تجهیزات کنترل و کلیدزنی
- تجهیزات حفاظتی
- تجهیزات اندازه‌گیری
- تجهیزات مانیتورینگ و اتوماسیون

در پیوست الف جداولی شامل خلاصه‌ای از تجهیزات به تفکیک عملکرد و لیست شماره رله‌های حفاظتی مطابق با استاندارد ANSI/IEEE (IEEE Standard C۳۷.۲) آورده شده است.

## ۱-۲- تقسیم‌بندی منابع تولید پراکنده

مسائل فنی مربوط به اتصال منابع تولید پراکنده به شبکهٔ توزیع به طور چشمگیری با قدرت نامی این مولدها تغییر می‌کند. به همین منظور مولدهای پراکنده بر اساس قدرت نامی به ۵ کلاس تقسیم بندی می شوند. جدول ۱-۱ کلاس‌بندی مولدهای سه‌فاز را بر اساس قدرت نامی آنها نشان می‌دهد.

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

**جدول (۱-۱): طبقه‌بندی مولدهای مقیاس کوچک با توجه به مقادیر نامی**

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

با توجه به این طبقه‌بندی، مولدهای هر کلاس با توجه به کلاس قدرتی که در آن قرار می‌گیرند از طریق یک یا دو طرح خاص می‌توانند به شبکه متصل شوند. طرح‌هایی که اکثراً برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، در شکل ۱-۱ نمایش داده شده‌اند. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود با توجه به کلاس قدرت مولدها، برخی از مولدها به طور مستقیم و بدون نیاز به ترانسفورماتور متصل‌کننده به شبکه متصل می‌شوند و برخی دیگر با استفاده از ترانسفورماتور به شبکه توزیع متصل می‌شوند.

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.

همانطور که در جدول ۱-۲ مشاهده می‌شود، مطابق این جدول امکان اتصال برخی از کلاس‌های مولدهای پراکنده به شبکه از طریق بیش از یک طرح امکان‌پذیر است. بطور مثال، مطابق این جدول، مولدهای کلاس ۴ از طریق طرح‌های ۳ و ۴ می‌توانند به شبکه متصل شوند، اما باید توجه شود که طرح‌های ارائه شده در جدول ۱-۲، طرح‌های پیشنهادی برای اتصال هر کلاس قدرت می‌باشند و در نهایت نتیجه مطالعات اتصال‌کوتاه و پخش‌بار تعیین کننده طرح مناسب برای اتصال مولد پراکنده به شبکه است. به عبارت دیگر، نتایج مطالعات پخش‌بار و اتصال‌کوتاه مشخص می‌کند که در یک فیدر خاص، آیا یک مولد کلاس ۴ می‌تواند از طریق طرح ۳ به شبکه متصل شود و یا باید از طریق طرح ۴ به شبکه متصل شود. برای سایر کلاس‌ها و طرح‌های ارائه شده در جدول ۱-۲ نیز به همین صورت نتایج مطالعات پخش‌بار و اتصال‌کوتاه تعیین‌کننده طرح مناسب برای اتصال مولدهای پراکنده به شبکه است.

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

| طرح \ کلاس | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ۱ | * | | | | |
| ۲ | * | * | | | |
| ۳ | | * | * | * | |
| ۴ | | | | * | * |
| ۵ | | | | | * |

در ادامه به بررسی حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز برای اتصال مولدهای پراکنده کلاس‌های مختلف با توجه به طرح‌های اتصال مختلف پرداخته می‌شود و با توجه به هر طرح اتصال و هر کلاس قدرت، حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز شامل تجهیزات کلیدزنی و کنترلی، تجهیزات حفاظتی، تجهیزات مونیتورینگ و تجهیزات اندازه‌گیری با توجه به خود تأمین بودن مولدهای پراکنده و یا تزریق تمام توان تولیدی توسط آنها به شبکه تعیین می‌گردد.

بمنظور حفاظت *DG* و شبکه در برابر خطاها و رخدادهای ناخواسته معمولاً از چند تجهیز حفاظتی استفاده می‌گردد. نوع و تعداد حفاظت‌های مورد نیاز در سیستم اتصال *DG* به شبکه، بستگی شدیدی به قدرت *DG*، طریقه اتصال آن به شبکه خود تأمین بودن و یا نبودن این مولدها و توپولوژی و شرایط فنی شبکه محل اتصال دارد. در ادامه، در هر کلاس و هر طرح، تجهیزات حفاظتی به دو دسته تقسیم‌بندی شده‌اند: دسته اول، حداقل توابع و تجهیزات حفاظتی هستند که وجود آنها در طرح حفاظتی جهت اتصال *DG* به شبکه الزامی می‌باشد. به عبارت دیگر، بایستی حتماً در سیستم اتصال *DG* به شبکه وجود داشته باشند تا اجازه اتصال *DG* به شبکه داده شود که به آن‌ها حداقل تجهیزات حفاظتی گفته می‌شود. دسته دوم از توابع حفاظتی، توابع یا تجهیزات حفاظتی پیشنهادی هستند، که وجود آنها در طرح حفاظتی الزامی نیست، اما در صورتی که در طرح حفاظتی از این توابع استفاده شود، قابلیت اطمینان طرح اتصال به مراتب افزایش می‌یابد.

باید توجه داشت که در این راهنما، هدف بررسی حداقل تجهیزات حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال *DG* به شبکه است و نه حفاظت *DG*، به عبارت دیگر هدف حفاظت شبکه در برابر تأثیرات ناشی از *DG* بر شبکه است و لذا طرحهای حفاظتی که در این راهنما ارائه می‌شود تضمینی برای حفاظت *DG*

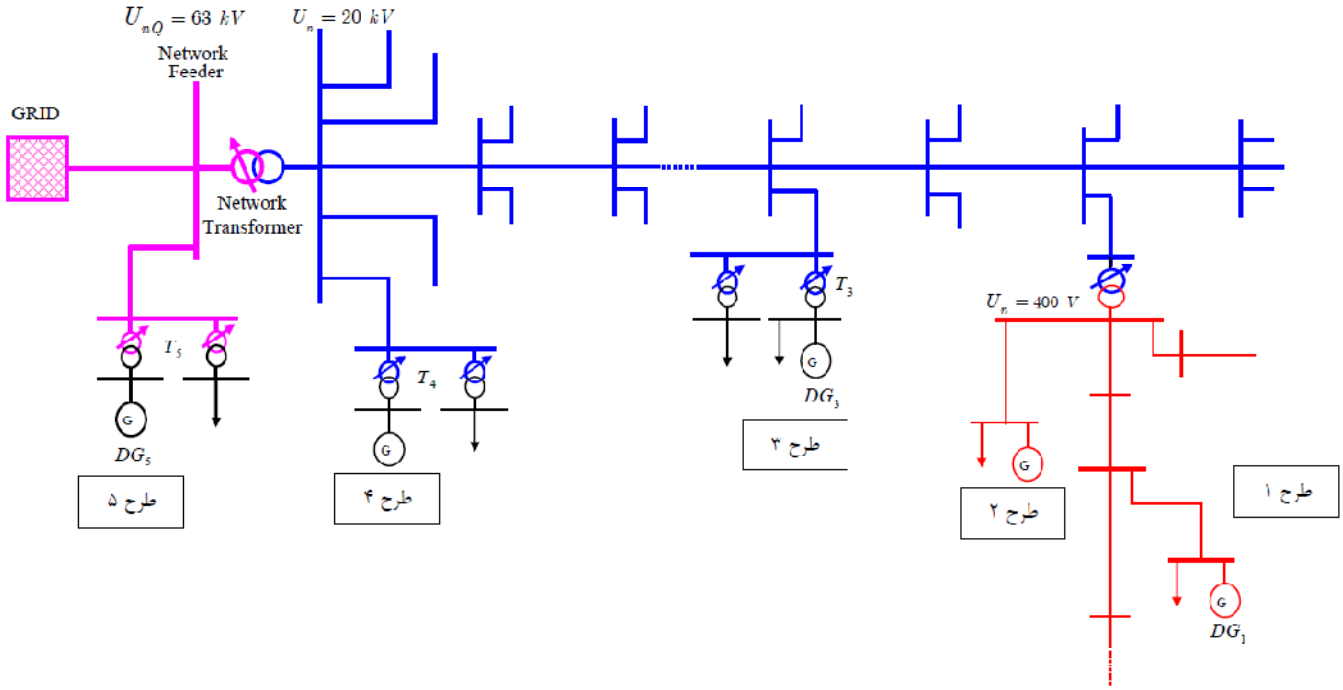
نیست. مسئولیت حفاظت از $DG$ بر عهده مالک $DG$ است و مالک $DG$ باید برای حفاظت مولدهای خود توابع حفاظتی مورد نیاز را پیش‌بینی نماید.

به طور کلی، طرح‌های حفاظتی باید به گونه‌ای طراحی شوند که حداقل قادر به شناسایی شرایط زیر باشند:

- آشکارسازی خطاهای متقارن و نامتقارن (فاز به زمین، فاز به فاز، سه‌فاز) در سمت $DG$ و در سمت شبکه (در تمام طول فیدر توزیعی که $DG$ به آن متصل شده است)
- فرکانس غیرعادی
- ولتاژ غیرعادی
- شرایط جزیره‌ای

یعنی تمهیدات و تجهیزات حفاظتی که در هر طرح حفاظتی بکار گرفته می‌شود، بایستی بطور مطمئن وقوع شرایط فوق در شبکه محل اتصال $DG$ را تشخیص دهد.

در این قسمت برای هر یک از کلاس‌های قدرت $DG$ و هر یک از طرح‌های اتصال $DG$ به شبکه، حداقل تجهیزات فنی جانبی مورد نیاز برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه توزیع به صورت جداگانه و مجزا تهیه می‌گردد تا در صورت نیاز و بمنظور دسترسی سریعتر به مطالب مربوط به هر طرح و هر کلاس، بتوان برای هر کلاس یک دفترچه جداگانه شامل حداقل تجهیزات فنی جانبی (تجهیزات حفاظتی، کنترلی، کلیدزنی و ...) و همچنین مطالعات فنی مورد نیاز برای اتصال $DG$ به شبکه در اختیار داشت تا در صورت درخواست متقاضی و همچنین بررسی سریعتر یک طرح و یک کلاس قدرت از نقطه نظر تجهیزات جانبی مورد نیاز و مطالعات فنی مورد نیاز، در اختیار داشت که این امر باعث کاهش زمان مورد نیاز برای بررسی طرح خواهد شد. به همین دلیل، در این قسمت، برای هر کلاس و هر طرح تجهیزات فنی جانبی مورد نیاز جهت اتصال $DG$ در طرح و کلاس مورد نظر به صورت جداگانه آورده شده است که ممکن است در برخی موارد از یک کلاس به کلاس دیگر و از یک طرح به طرح دیگر موارد مشابه در بخش‌های مختلف و کلاس‌های مختلف به طور مداوم تکرار شده باشد تا برای هر کدام از کلاس‌های مولد پراکنده بتوان روابط و داده‌های مورد نیاز را به تفکیک در اختیار داشت. در انتها جهت سهولت در بررسی مطالب این فصل، موارد در قالب یک جدول جمع‌بندی شده است.




**شکل (۱-۱): طرح‌های اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه**

# فصل دوم

# حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه برق به تفکیک طرح اتصال

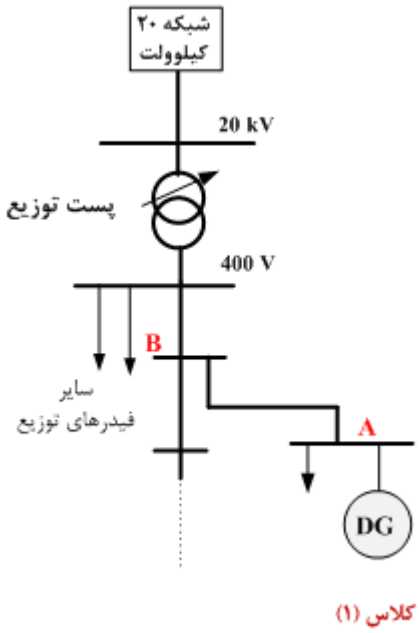
## ۲-۱- مقدمه

در فصل قبل به انواع کلاس‌ها و طرح‌های اتصال منابع تولید پراکنده اشاره گردید. در این فصل به منظور سهولت در دسترسی حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز، برای هر یک از کلاس‌های منابع تولید پراکنده و طرح‌های اتصال مجاز مربوط به آن‌ها به طور جداگانه بیان شده است.

همچنین حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز در حضور بار محلی و عدم حضور بار محلی بیان شده‌اند و در انتها برای هر کلاس و طرح مربوطه جدولی جهت جمع‌بندی حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز ارائه شده است.

## ۲-۲- منابع تولید پراکنده کلاس (۱) و طرح اتصال (۱)

شکل ۳-۲ اتصال مولدهای پراکنده به شبکه بر اساس طرح ۱ را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۱-۲، تنها اتصال $DG$های کلاس (۱)، یعنی ژنراتورهای سه‌فاز با ظرفیت زیر ۲۰ کیلووات و ژنراتورهای تکفاز با حداکثر قدرت نامی ۵ کیلووات، از طریق این طرح به شبکه توزیع مجاز است. با توجه به ظرفیت کم منابع تولید پراکنده در این حالت، برای اتصال این منابع به شبکه نیاز به ترانسفورماتور اختصاصی نیست و $DG$ مستقیماً به وسط فیدر فشارضعیف متصل می‌شود.




شکل (۲-۱): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۱)

### ۲-۲-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

در صورتی که این مولدها امکان بهره‌برداری موازی با شبکه را داشته باشند، وجود تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده و کلیدهای اتوماتیک از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده $DG$ به شبکه بشمار می‌روند.

### الف- تجهیزات کنترلی

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد توان راکتیو تولیدی توسط ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار بگیرد، زیرا در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌گردد و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد و توانی به شبکه تزریق نمی‌کند، می‌توان $AVR$ ژنراتور را در مود $PV$ قرار داد تا ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

### ب- تجهیزات حفاظتی

با توجه به قدرت ناچیز مولدهای این کلاس در مقایسه با حداقل بار فیدر، می‌توان در رابطه با عملکرد سیستم‌های حفاظتی متداول و قطع ژنراتور از شبکه در صورت ایجاد شرایط جزیره‌ای و عملکرد رله‌های فرکانسی و ولتاژی اطمینان خاطر داشت. به دلیل کم بودن ظرفیت $DG$ در برابر حداقل بار فیدر، در صورتی که کلید قدرت فیدری که $DG$ به آن متصل است از ابتدای فیدر قطع شود بار موجود در فیدر بسیار بیشتر از ظرفیت $DG$ خواهد بود و بنابراین فرکانس و ولتاژ $DG$ به شدت افت کرده و رله‌های افت

ولتاژ و کاهش فرکانس ایجاد جزیره در شبکه را تشخیص داده و دستور قطع $DG$ را صادر می‌کنند و نیازی به استفاده از سیستم انتقال تریپ و یا رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز نیست.

بمنظور تعیین حداقل تجهیزات مورد نیاز جهت حفاظت سیستم اتصال $DG$ به شبکه دو سناریوی زیر را می‌توان مورد بررسی قرار داد:

- **مولدهای دارای بار محلی**

در این صورت، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک $DG$ است به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه در قراردادی که بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه منعقد می‌شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان تولیدی توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد، که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، باید از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی مشخص می‌شود، استفاده شود تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود.

در طرح ۱ و کلاس ۱ حداقل تجهیزات حفاظتی لازم عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- رله توان معکوس (۳۲)
- رله افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)

در کنار تجهیزات مذکور، دو تجهیز حفاظتی نیز به عنوان حفاظت تکمیلی پیشنهاد می‌شود:

- رله اضافه ولتاژ توالی منفی (عدم توالی فاز)(۴۷)
- رله اضافه جریان (۵۰/۵۱)

- **مولدهای بدون بار محلی**

در صورتیکه مولد دارای بار محلی نباشد و تمام توان تولیدی توسط مولد پراکنده به شبکه تزریق شود، نیازی به استفاده از رله توان معکوس و یا حداقل توان در سیستم اتصال $DG$ به شبکه نیست. بنابراین، در این حالت نیز تمام حفاظت‌های بالا به جز رله توان معکوس در سیستم اتصال مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شایان ذکر است رله توان معکوسی که در نقطه اتصال به شبکه نصب می شود نباید با رله توان معکوسی که برای حفاظت مولد ( مثلاً روی ژنراتور سنکرون برای جلوگیری از عملکر موتوری) نصب می-گردد اشتباه گرفته شود.

همچنین باید توجه داشت که این حفاظت در هر دو بخش فوق معمولاً توسط یک رله مستقل انجام نمی شود ، بلکه یک تابع حفاظتی از یک رله چند منظوره می باشد.

### ج- اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت این مولدها کم و حداکثر $۲۰kW$ است، استفاده از سیستم مانیتورینگ الزامی نیست. وجود تله‌متری و ارتباط با مرکز کنترل از طریق سیستم اسکادا به دلیل پائین بودن ظرفیت $DG$ نیز ضرورت ندارد.

جدول ۲-۱ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی در این طرح را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۱): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال DG های کلاس (۱) براساس طرح (۱)

| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | تجهیزات اندازه‌گیری | مانیتورینگ |
| --- | --- | --- | --- |
| - کلید سنکرون‌کننده<br>- AVR در مد $\cos\phi$ ثابت<br>- گاورنر | **الزامی:**<br>-سنکرون‌چک (۲۵)<br>-افت ولتاژ (۲۷)<br>-توان معکوس (۳۲)*<br>-افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>**پیشنهادی:**<br>-عدم توالی فاز ولتاژ (۴۷)<br>-اضافه جریان (۵۰/۵۱) | -کنتورها | -الزامی نیست. |

* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارند.

در حالت کلی، از نقطه نظر مباحث اقتصادی، باید میزان انرژی اکتیو و راکتیو تولیدی توسط $DG$ به صورت کیلووات ساعت و کیلووار ساعت به صورت دائم اندازه‌گیری شود. همچنین پارامترهایی نظیر ولتاژ، جریان خطوط، ضریب توان ژنراتور، کیلووات تولیدی، کیلووار و یا کیلوولت‌آمپر نیز جهت مقاصد بهره-

برداری و حفاظتی قرائت می‌گردد. اندازه‌گیری‌های صورت گرفته باید مطابق استانداردهای مرتبط با اندازه‌گیری و سرویس‌دهی برق انجام شود.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد توسط $DG$ به شبکه وجود داشته باشد، لازم است مالک شبکه کنتورهایی را جهت ثبت انرژی ورودی ($kWh\ (in)$) و انرژی خروجی ($kWh\ (out)$) نصب کند. 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.

به طور کلی دو حالت زیر را می‌توان مورد بررسی قرار داد:

الف- خود تأمین بودن (مصرف تمام یا بخشی از توان تولیدی توسط خود مالک $DG$)

در این حالت، به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_1$ در شکل ۲-۴) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_2$ در شکل ۲-۴) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_3$) استفاده نماید.

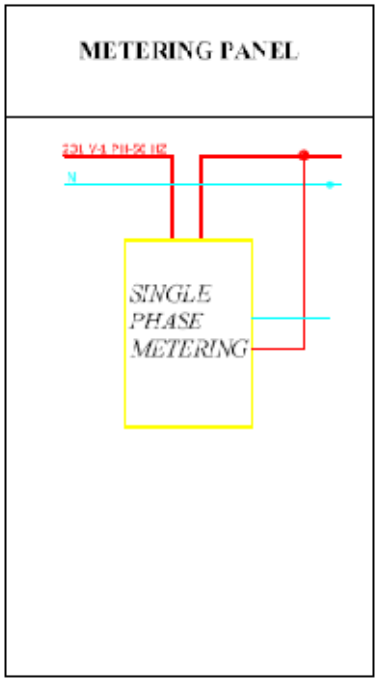
ب- تزریق تمام توان تولیدی به شبکه (عدم وجود بار محلی)

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام تولید به شبکه تزریق می‌شود، تنها استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه کفایت می‌کند.

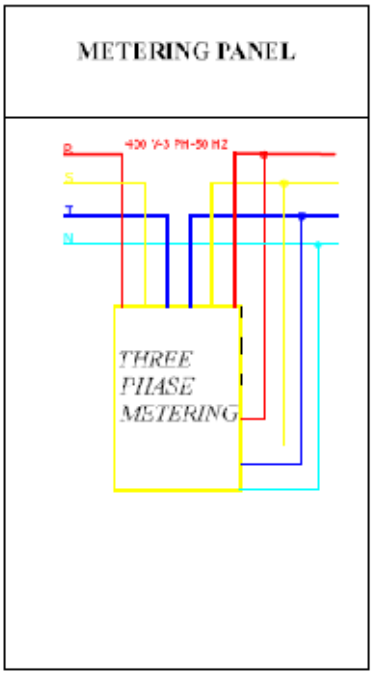
**- نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری**

همانطور که اشاره شد منابع تولید پراکنده تکفاز با ظرفیت نامی کمتر از ۵ کیلووات نیز از طریق طرح ۱ می‌توانند به شبکه متصل گردند. در این حالت، با توجه به قدرت کم منابع تولید پراکنده و جریان و ولتاژ فشارضعیف آنها، نمونه‌گیری ولتاژ و جریان به صورت مستقیم توسط کنتور انجام می‌گیرد. نحوه اتصال کنتور در این حالت در شکل ۲-۲ آورده شده است.

منابع تولید پراکنده سه‌فاز با ظرفیت نامی کمتر از ۲۰ کیلووات نیز از طریق طرح ۱ می‌توانند به شبکه متصل گردند. در این حالت، با توجه به قدرت کم منابع تولید پراکنده و جریان و ولتاژ فشارضعیف آنها، نمونه‌گیری ولتاژ و جریان سه‌فاز به صورت مستقیم توسط کنتور انجام می‌گیرد و نیاز به ترانسفورماتور ولتاژ و جریان برای انجام اندازه‌گیری نیست. نحوه اتصال کنتور در این حالت در شکل ۲-۳ آورده شده است.




شکل (۲-۲): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در مولدهای پراکنده تکفاز کمتر از ۵ کیلووات



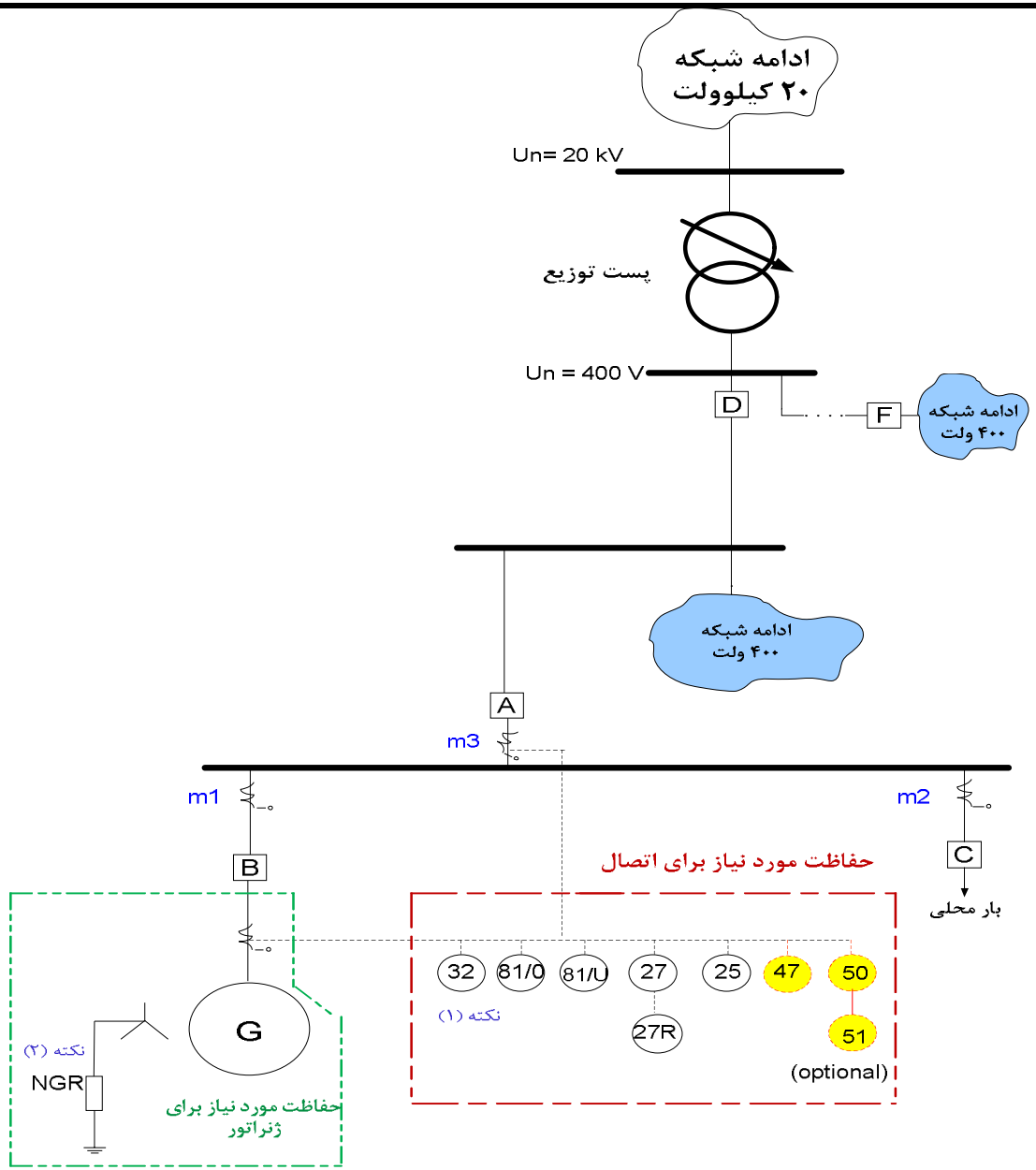

شکل (۲-۳): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در مولدهای پراکنده سه فاز کلاس ۱

**راهنمای حفاظت**

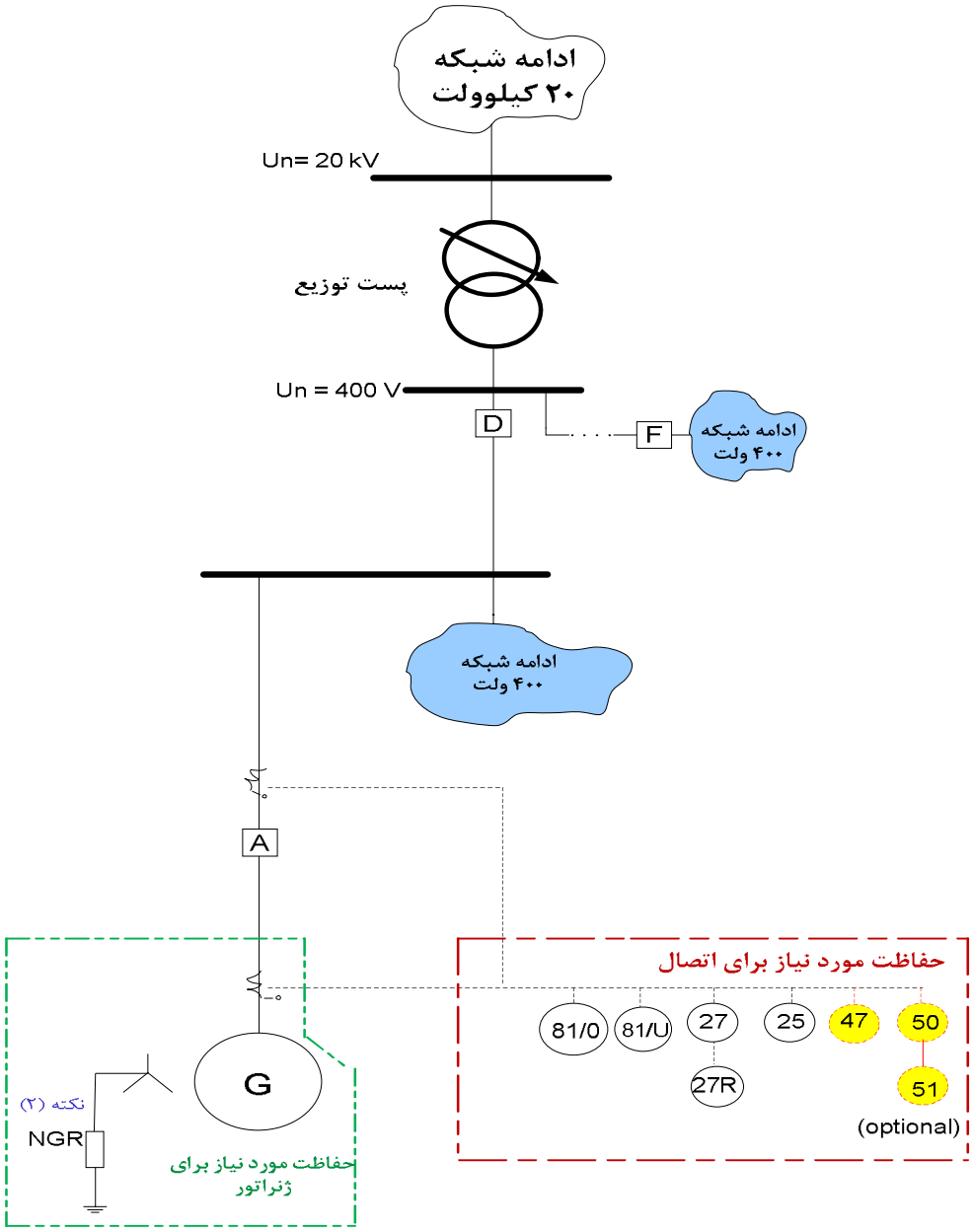
۲۵- رله سنکرون چک
۲۷- افت ولتاژ
۲۷R- افت ولتاژ لحظه‌ای
۳۲- توان معکوس
۴۷- توالی فاز ولتاژ
۵۰/۵۱- اضافه جریان لحظه‌ای/ تاخیری
۸۱/O- افزایش فرکانس
۸۱/U- کاهش فرکانس

**راهنمای نقشه**

اندازه گیری
ترانسفورماتور
مقاومت زمین کننده نول
کلید




شکل (۲-۴): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۱ از طریق طرح ۱ به شبکه (دارای بار محلی)




شکل (۲-۵): طرح اتصال تجهیزات حفاظتی مورد نیاز

جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۱ از طریق طرح ۱ به شبکه (بدون بار محلی)

**برخی از نکات شکل ۲-۴ و ۲-۵:**

**نکته ۱:**

استفاده از رله توان معکوس (۳۲) برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا در مورد ژنراتورهایی که برای تزریق توان توسط آنها به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارند. در مورد مولدهایی که دارای بار محلی نیستند، استفاده از این رله الزامی نیست که در شکل ۲-۵ نیز نشان داده شده است.

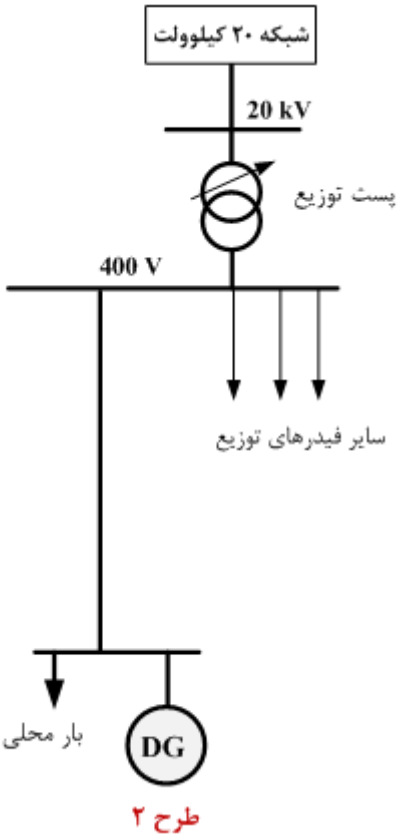
**نکته ۲:**

نیاز به استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور (*NGR*) با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

## ۲-۳- منابع تولید پراکنده کلاس (۱) و طرح اتصال (۲)

شکل ۲-۶ شماتیک اتصال مولدهای پراکنده به شبکه از طریق طرح (۲) را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۱-۲، مولدهای کلاس ۱ و ۲، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت زیر ۲۰۰ کیلووات، از طریق این طرح می‌توانند به شبکه متصل شوند. در این قسمت مولدهای سنکرون سه‌فازی که ظرفیت آنها کمتر از $۲۰kW$ است، یعنی مولدهای پراکنده کلاس ۱ مورد بررسی قرار می‌گیرند.

همانطور که در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود در این طرح، $DG$ مستقیماً و بدون نیاز به ترانسفورماتور اختصاصی از طریق یک خط فشارضعیف ۴۰۰ ولت به ثانویه پست توزیع متصل می‌شود.




**شکل (۲-۶): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۲)**

### ۲-۳-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

وجود تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده جهت اتصال مولد به شبکه و کلیدهای اتوماتیک از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده مولدهای این کلاس به شبکه از طریق طرح ۲ بشمار می‌روند. سایر تجهیزات جانبی مورد نیاز در این طرح عبارتند از:

## الف- تجهیزات کنترلی

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد توان راکتیو تولیدی توسط ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار بگیرد، زیرا در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است و مولد نباید به صورت فعال ولتاژ را تنظیم کند.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌شود و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد ، می‌توان $AVR$ ژنراتور را در مود $PV$ قرار داد، تا مولد، ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند. چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی توسط ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

## ب- تجهیزات حفاظتی

بمنظور تعیین حداقل تجهیزات مورد نیاز جهت حفاظت سیستم اتصال $DG$ به شبکه دو حالت زیر را می‌توان مورد بررسی قرار داد:

- **مولدهای دارای بار محلی**

در این صورت، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک $DG$ است به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه در قراردادی که بین مالک $DG$ و مالک شبکه منعقد می‌شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، لازم است از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی مشخص می‌شود، استفاده شود تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود.

در صورتی که $DG$ به صورت خود تأمین و دارای بار محلی باشد، مولدهای پراکنده، بعد از قطع شبکه، بار محلی خود را تغذیه خواهند کرد ولی بایستی بار و ژنراتور از نقطه $PCC$ توسط کلید قدرت شبکه جدا شوند، تا اگر احیاناً بر روی شبکه فشار ضعیف یا ترانسفورماتور پست توزیع تعمیراتی انجام می‌شود خطری متوجه پرسنل تعمیرات و نگهداری شبکه نباشد.

در این‌صورت اگر کلید سر فیدر فشار ضعیف قطع شود، چون در طرح ۲ هیچ مصرف‌کننده دیگری بر روی این فیدر فشار ضعیف قرار ندارد، چنانچه حداکثر بار محلی کمتر از یک سوم ظرفیت تولید $DG$ و یا حداقل آن بیش از سه برابر ظرفیت تولید $DG$ باشد، به دلیل افزایش و یا کاهش شدید فرکانس و ولتاژ در محل اتصال، $DG$ از شبکه جدا خواهد شد و نیاز به انتقال تریپ و یا رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز نیست و رله‌های ولتاژی و فرکانسی $DG$ را از شبکه جدا خواهند کرد[۱۴]. اما چنانچه مصرف بار محلی قابل مقایسه و نزدیک به میزان ظرفیت $DG$ باشد برای تشخیص قطع شدن فیدر فشارضعیف، یا باید از توابع حفاظتی جابجایی فاز و $ROCOF$ جهت آشکارسازی قطع شبکه استفاده نمود و یا سیستم انتقال تریپ را به کار گرفت.

در صورتی که پست توزیع از سمت ۲۰ کیلوولت بی‌برق شود، چنانچه حداقل بار موجود بر روی ترانسفورماتور پست توزیع بیشتر از سه برابر ظرفیت $DG$ باشد، به نحوی که $DG$ قادر به تأمین این بار نباشد، به دلیل افت ولتاژ و فرکانس در محل اتصال $DG$ به شبکه، سیستم حفاظتی عمل خواهد کرد و $DG$ را از شبکه جدا خواهد نمود. معمولاً در کلاس ۱ که مولدهای دارای ظرفیت کمتر از ۲۰ کیلووات هستند چنین شرایطی رخ خواهد داد. اما در مورد ترانسفورماتورهای کم ظرفیت و شبکه‌های کم بار احتیاط لازم است.

در این طرح حداقل تجهیزات حفاظتی لازم که حتماً باید در نظر گرفته شوند، عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- توان معکوس (۳۲)
- رله افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)

در کنار تجهیزات مذکور، استفاده از تجهیزات حفاظتی زیر نیز به عنوان توابع حفاظتی تکمیلی (برای شرایط خاص) پیشنهاد می‌شود:

- رله اضافه جریان (۵۰/۵۱)
- ROCOF (۸۱R)

- جابجایی فاز (۷۸)
- رله افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)

➢ **مولدهای بدون بار محلی**

در صورتیکه مولد دارای بار محلی نباشد و تمام توان تولیدی توسط مولد پراکنده به شبکه تزریق شود، نیازی به استفاده از رله توان معکوس و یا حداقل توان در سیستم اتصال $DG$ به شبکه نیست. بنابراین در این حالت نیز تمام حفاظت‌های فوق به جز رله توان معکوس در سیستم اتصال مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از آنجایی که در طرح ۲، مولدهای پراکنده از طریق فیدر اختصاصی به پست توزیع متصل می‌شوند، هنگامی که کلید ابتدای فیدر فشار ضعیف اختصاصی به هر دلیلی قطع می‌شود به دلیل اینکه هیچ مصرف-کننده دیگری بر روی این فیدر قرار ندارد، در صورت نبود بار محلی و خود تأمین نبودن $DG$، به علت افزایش فرکانس و ولتاژ در محل اتصال $DG$ به شبکه در هنگام قطع کلید فیدر اختصاصی، رله‌های فرکانسی و ولتاژی دستور قطع $DG$ را صادر می‌کنند.

## ج- تجهیزات اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت مولدهای کلاس ۱ کم و حداکثر $۲۰kW$ است، استفاده از سیستم‌های مانیتورینگ در مورد این مولدها لزومی ندارد. وجود تله‌متری و ارتباط با مرکز کنترل از طریق سیستم اسکادا به دلیل پائین بودن ظرفیت $DG$ نیز الزامی نیست.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد توسط $DG$ به شبکه وجود دارد، لازم است مالک شبکه کنتورهایی را جهت ثبت انرژی ورودی ($kWh\ (in)$) و انرژی خروجی ($kWh\ (out)$) نصب کند.

به طور کلی دو حالت زیر را برای نصب لوازم اندازه‌گیری می‌توان مورد بررسی قرار داد:

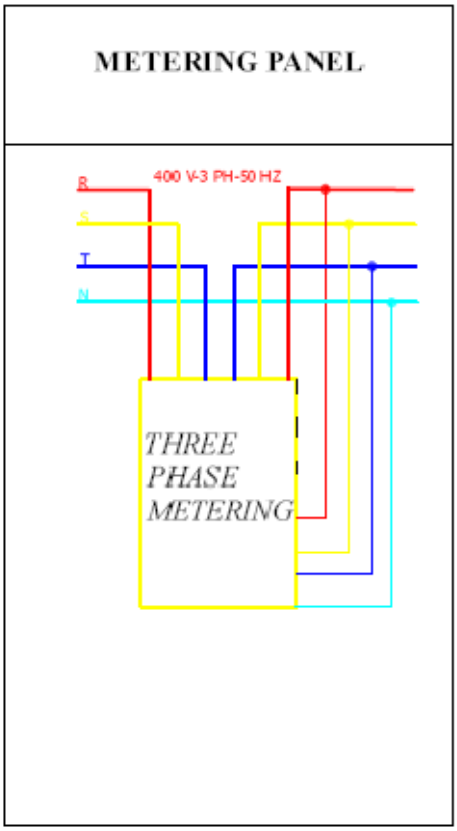
الف- مولدهای خود تأمین و دارای بار محلی

در این حالت به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق و نیاز به اندازه‌گیری میزان توان تزریق شده توسط $DG$ به شبکه، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_۱$ در شکل ۲-۸) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_۲$ در شکل ۲-۸) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_۳$) استفاده نماید تا بتواند توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه را اندازه‌گیری نماید.

ب- مولدهای بدون بار محلی

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام تولید به شبکه تزریق مـی‌شـود، تنهـا استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه کفایت می‌کند.

در هر دو مورد فوق، با توجه به قدرت کم منابع تولید پراکنده در کلاس ۱ و جریان و ولتاژ فشارضعیف آنها، نمونه‌گیری ولتاژ و جریان سه‌فاز به صورت مستقیم توسط کنتور انجام می‌گیرد. نحوه اتصال کنتور در این حالت در شکل ۲-۷ آورده شده است.




شکل (۲-۷): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۲ کلاس ۱

جدول ۲-۲ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی در این طرح را نشان می‌دهد.

**جدول (۲-۲): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال *DG* کلاس (۱) براساس طرح (۲)**

| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | مانیتورینگ | تجهیزات اندازه‌گیری |
| --- | --- | --- | --- |
| • کلید سنکرون<br>• AVR در مد $\cos\phi$ ثابت<br>• گاورنر | **الزامی:**<br>• سنکرون‌چک (۲۵)<br>• افت ولتاژ (۲۷)<br>• توان معکوس (۳۲)*<br>• افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>**پیشنهادی:**<br>• اضافه جریان آنی و تأخیری (۵۰/۵۱)<br>• اضافه ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)**<br>• ROCOF (۸۱R)***<br>• جابجایی فاز (۷۸)*** | • الزامی نیست. | • کنتورها |

* این رله تنها برای ژنراتورهایی که برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا برای ژنراتورهایی که میزان تزریق توان توسط آنها به شبکه دارای یک سقف مشخص می‌باشد، کاربرد دارد.

** استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد. رله اضافه ولتاژ سریع ۵۹*I* برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در *PCC*)

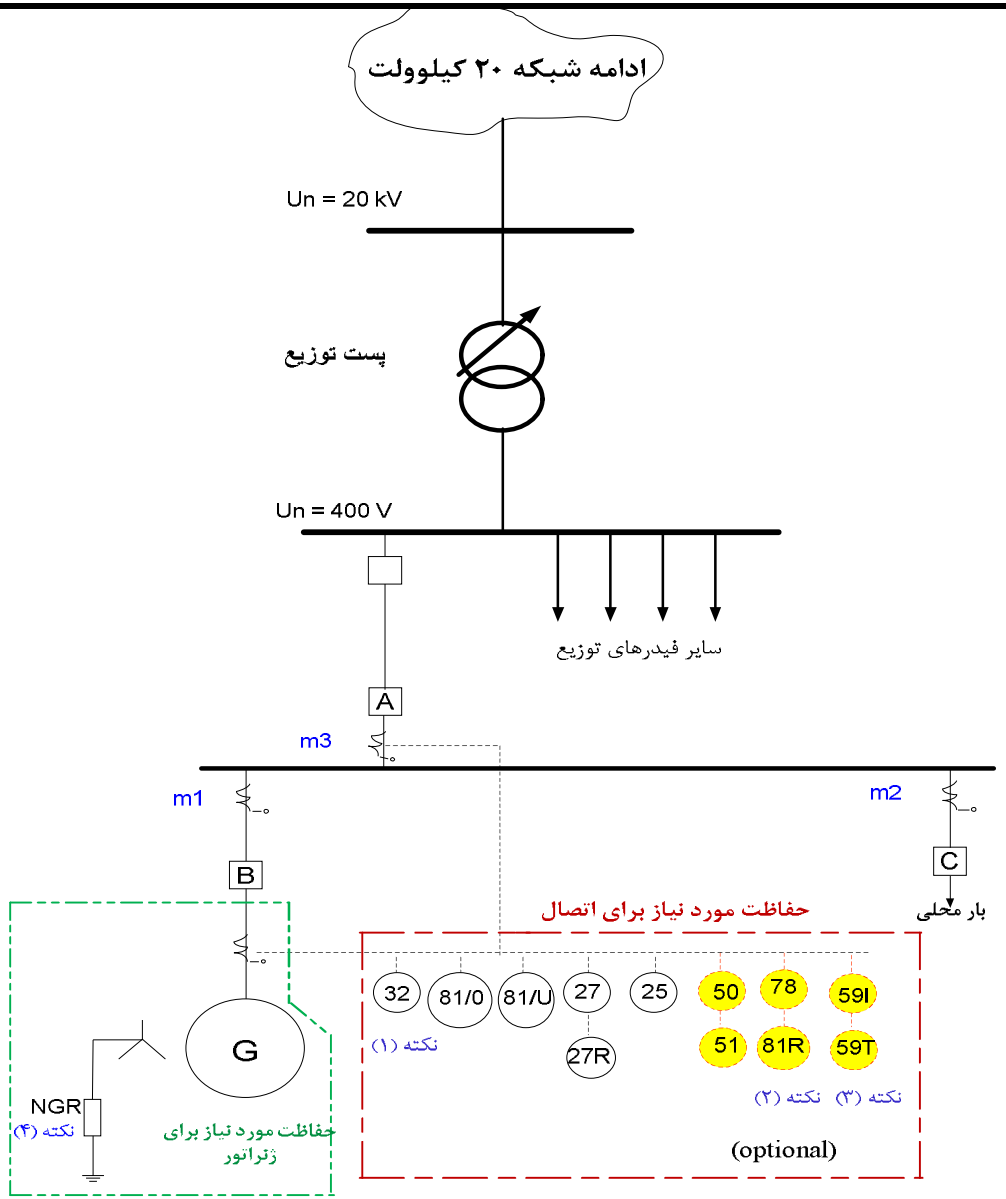
*** از این دو تابع حفاظتی تنها زمانی جهت آشکارسازی جزیره استفاده می‌شود که حداکثر بار محلی و یا دیماند بار محلی نزدیک به میزان ظرفیت تولید *DG* باشد.

**راهنمای حفاظت**

۲۵- سنکرون چک
۲۷- افت ولتاژ
۲۷R- افت ولتاژ لحظه‌ای
۳۲- توان معکوس
۵۰/۵۱- اضافه جریان لحظه‌ای/ تاخیری
۵۹I- اضافه ولتاژ آنی
۵۹T- اضافه ولتاژ تاخیری
۸۱/O- اضافه فرکانس
۸۱/U- زیر فرکانس

**راهنمای نقشه**

اندازه گیری
فیوز
مقاومت زمین کننده نول
کلید قدرت




**شکل (۲-۸): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۱ از طریق طرح ۲ به شبکه**

**برخی از نکات شکل ۲-۸:**

**نکته ۱:**

رله توان معکوس (۳۲)، برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا برای ژنراتورهایی که تزریق توان توسط آنها به شبکه دارای یک سقف مشخص می‌باشد، کاربرد دارد.

**نکته ۲:**

از توابع حفاظتی ROCOF و جابجایی فاز در این طرح، تنها زمانی جهت آشکارسازی جزیره استفاده می‌شود که حداکثر بار محلی و یا دیماند بار محلی نزدیک به میزان ظرفیت تولید $DG$ باشد.

**نکته ۳:**

استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد. رله اضافه ولتاژ سریع ۵۹$I$ برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در $PCC$)

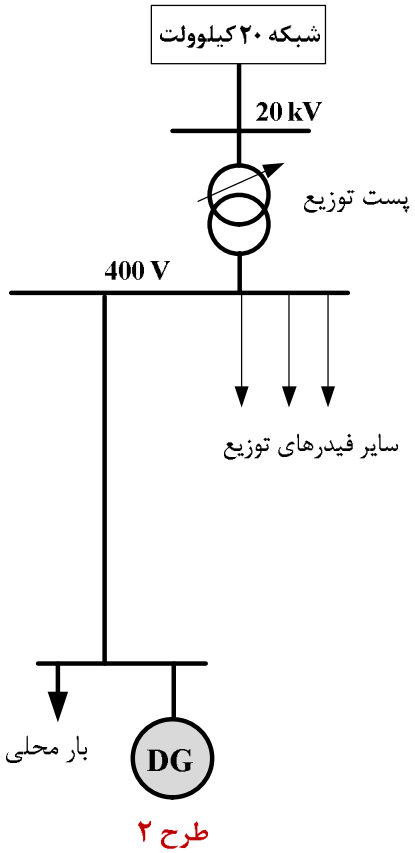
**نکته ۴:**

نیاز به استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور ($NGR$) با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

### ۲-۴- منابع تولید پراکنده کلاس (۲) و طرح اتصال (۲)

شکل ۲-۹ شماتیک اتصال مولدهای پراکنده به شبکه از طریق طرح اتصال ۲ را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۱-۲، مولدهای کلاس ۱ و ۲، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت زیر ۲۰۰ کیلووات، از طریق این طرح می‌توانند به شبکه متصل شوند. در این قسمت فقط مولدهای سنکرون سه‌فازی که ظرفیت آنها بین ۲۰ تا ۲۰۰ کیلووات است، یعنی مولدهای پراکنده کلاس ۲ مورد بررسی قرار می‌گیرند.

همانطور که در شکل ۲-۹ مشاهده می‌شود در این طرح، $DG$ مستقیماً و بدون نیاز به ترانسفورماتور اختصاصی از طریق یک فیدر اختصاصی ۴۰۰ ولت به ثانویه پست توزیع متصل می‌شود.




**شکل (۲-۹): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۲)**

#### ۲-۴-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

وجود تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده و کلیدهای قدرت از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده $DG$ به شبکه بشمار می‌روند. در برخی از فیدرهای توزیع احتمال استفاده از ریکلوزر در ابتدای فیدر وجود دارد در چنین مواردی باید هماهنگی لازم بین تجهیزات حفاظتی و قطع‌کننده $DG$ و

ریکلوزر وجود داشته باشد تا در صورت ایجاد جزیرهٔ ناخواسته در شبکه از اتصال خارج از فاز $DG$ به شبکه و آسیب‌های احتمالی جلوگیری به عمل آید. سایر تجهیزات جانبی مورد نیاز در این طرح عبارتند از:

### الف- تجهیزات کنترلی

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد توان راکتیو تولیدی توسط ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار گیرد، زیرا در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است و مولد نباید به صورت فعال ولتاژ را تنظیم کند.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌گردد و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد و توانی به شبکه تزریق نمی‌کند، می‌توان $AVR$ ژنراتور را مود $PV$ قرار داد، تا مولد ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند. چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی توسط ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور با فرکانس شبکه نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

### ب- تجهیزات حفاظتی

بمنظور تعیین حداقل تجهیزات مورد نیاز جهت حفاظت سیستم اتصال $DG$ به شبکه دو سناریوی زیر را می‌توان مورد بررسی قرار داد:

- **مولدهای دارای بار محلی**

در این صورت، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف یک بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک $DG$ است، به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه در قراردادی که بین مالک $DG$ و مالک شبکه منعقد می‌شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، باید از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی

مشخص می‌شود، استفاده گردد تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود.

در صورتی که $DG$ به صورت خود تأمین و دارای بار محلی باشد، مولد پراکنده، بعد از قطع شبکه، بار محلی خود را تغذیه خواهد کرد ولی بایستی از شبکه جدا شود، تا اگر احیاناً بر روی ترانسفورماتور پست توزیع تعمیراتی انجام می‌شود خطری متوجه پرسنل تعمیرات و نگهداری شبکه نباشد.

در اینصورت اگر کلید ابتدای فیدر فشار ضعیف قطع شود، چنانچه دیماند بار محلی کمتر از یک سوم ظرفیت تولید $DG$ باشد، به دلیل افزایش فرکانس و ولتاژ در محل اتصال، $DG$ از شبکه جدا خواهد شد و نیاز به استفاده از سیستم انتقال تریپ و یا رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز نیست و رله‌های ولتاژی و فرکانسی $DG$ را از شبکه جدا خواهند کرد. اما چنانچه دیماند یا حداکثر مصرف بار محلی قابل توجه بوده و نزدیک به میزان ظرفیت $DG$ باشد در صورت قطع کلید ابتدای فیدر، ولتاژ یا فرکانس در محل اتصال $DG$ خیلی تغییر نخواهد کرد بنابراین، یا باید از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ جهت آشکارسازی قطع شبکه استفاده نمود و یا از سیستم انتقال تریپ استفاده شود. که در بیشتر موارد استفاده از رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز که دارای تنظیمات مناسبی باشند، می‌تواند این نیاز را مرتفع سازد.

در صورتی که پست توزیع از سمت ۲۰ کیلوولت بی‌برق شود، چنانچه حداقل بار موجود بر روی تمام فیدرهای فشارضعیف ترانسفورماتور پست توزیع بیشتر از سه برابر ظرفیت $DG$ باشد، به نحوی که $DG$ قادر به تأمین این بار نباشد، به دلیل افت ولتاژ و فرکانس در محل اتصال $DG$ به شبکه، سیستم حفاظتی عمل خواهد کرد و $DG$ را از شبکه جدا خواهد نمود. بنابراین توصیه می‌شود که در صورت استفاده از طرح ۲ برای اتصال مولدهای پراکنده کلاس ۲، شرط اساسی سه برابر بودن حداقل بار ترانسفورماتور توزیع نسبت به ظرفیت $DG$ رعایت شود. به عبارتی برای اینکه به دلیل ایجاد خطا در شبکه فشار متوسط حالت جزیره‌ای در شبکه فشارضعیف ایجاد نشود، بهتر است ظرفیت نامی $DG$ کمتر از یک سوم حداقل بار ترانسفورماتور توزیع باشد تا در صورت بی‌برق شدن پست توزیع مشکلی از لحاظ ایجاد جزیره ناخواسته ایجاد نشود و یا اینکه از سیستم انتقال تریپ و یا رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز استفاده شود.

در این طرح حداقل تجهیزات حفاظتی لازم که حتماً باید در نظر گرفته شوند، عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- رله توان معکوس (۳۲)
- رله اضافه ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)

- رله اضافه جریان آنی و معکوس زمانی (۵۰/۵۱)
- افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)

در کنار تجهیزات مذکور، تجهیزات و توابع حفاظتی زیر نیز به عنوان حفاظت تکمیلی (در شرایط خاص) پیشنهاد می‌شود:

- رله اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)
- توالی فاز ولتاژ (۴۷)
- رله ROCOF (۸۱R)
- رله جابجایی فاز (۷۸)

### ➢ مولدهای بدون بار محلی

در صورتیکه مولد پراکنده دارای بار محلی نباشد و تمام توان تولیدی توسط مولد پراکنده به شبکه تزریق شود، نیازی به استفاده از رله توان معکوس و یا حداقل توان در سیستم اتصال $DG$ به شبکه نیست. بنابراین در این حالت نیز تمام حفاظت‌های بالا در سیستم اتصال مورد استفاده قرار می‌گیرد به جز رله توان معکوس (۳۲).

از آنجاییکه در طرح ۲، مولدهای پراکنده از طریق فیدر اختصاصی به پست توزیع متصل می‌شوند هنگامی که کلید ابتدای این فیدر به هر دلیلی قطع می‌شود به دلیل اینکه هیچ مصرف‌کننده دیگری بر روی این فیدر قرار ندارد، در صورت نبود بار محلی و خود تأمین نبودن $DG$، به علت افزایش فرکانس و ولتاژ در محل اتصال $DG$ به شبکه در هنگام قطع کلید فیدر اختصاصی، رله‌های فرکانسی و ولتاژی دستور قطع $DG$ را صادر می‌کنند و استفاده از سیستم انتقال تریپ و رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ الزامی نیست.

### ج- تجهیزات اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت مولدهای پراکنده در این کلاس کمتر از ۲۰۰$kW$ است، استفاده از سیستم‌های مانیتورینگ جهت پایش وضعیت مولدهای پراکنده الزامی نیست. وجود تله‌متری و ارتباط با مرکز کنترل از طریق سیستم اسکادا به دلیل پائین بودن ظرفیت $DG$ نیز الزامی نیست.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد توسط $DG$ وجود دارد، لازم است بهره‌بردار شبکه کنتورهایی را

جهت ثبت انرژی ورودی (*kWh (in)*) و انرژی خروجی (*kWh (out)*) در محل اتصال *DG* به شبکه نصب کند.

به طور کلی دو حالت زیر را برای نصب کنتور می‌توان مورد بررسی قرار داد:

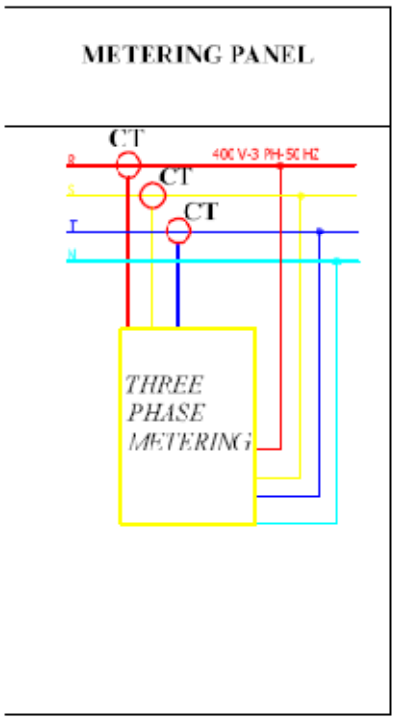
الف- مولدهای خود تأمین و دارای بار محلی

در این حالت به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_1$ در شکل ۲-۱۱) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_2$ در شکل ۲-۱۱) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_3$) استفاده نماید، تا بتواند میزان توان تزریقی توسط *DG* به شبکه را اندازه‌گیری نماید.

ب- مولدهای بدون بار محلی

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام تولید به شبکه تزریق می‌شود، تنها استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه کفایت می‌کند.

در مورد منابع تولید پراکنده کلاس ۲ و طرح ۲، چون جریان تزریقی توسط مولد نسبتاً زیاد است جریان سه‌فاز با استفاده از سه دستگاه ترانسفورماتور جریان با مشخصات مندرج در جدول ۲-۳ سنجش شده و نمونه ولتاژی به صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در این حالت در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است.




شکل (۲-۱۰): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۲ کلاس ۲

جدول (۲-۳): مشخصات ترانسفورماتور جریان فشارضعیف

| ۴۰۰ VOLTS CURRENT TRANSFORMER – SINGLE CORE | |
| --- | --- |
| TYPE | WOUND PRIMARY,BUSBAR ATTACHED |
| LINE TO LINE VOLTAGE | ۳۸۰V |
| MAXIMUM SERVICE VOLTAGE | ۵۰۰V |
| TEST VOLTAGE INSULATION | ۰۶/۳.۰ KV |
| RATED PRIMARY CURRENT | ** A |
| RATED SECONDARY CURRENT | ۵ A |
| CURRENT TRANSFORMATION RATIO | SINGLE |
| SECONDARY TERMINALS | DOUBLE |
| NOMINAL FREQUENCY | ۵۰HZ |
| ACCURACY SATURATION FACTOR | N=۵ |
| CLASS OF ACCURACY | ۰.۵ |
| RATED BURDEN | ۵ VA |
| THERMAL SHORT TIME CURRENT - ۱ SECOND | * KA |
| MAXIMUM DYNAMIC CURRENT | * KA |
| APPLICATION | MEASURMENT |
| ENCLOSURE | MOULDED PLASTIC CASING |

جدول ۲-۴ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی در طرح ۲ و کلاس ۲ را نشان می‌دهد. دیاگرام تک‌خطی اتصال $DG$ کلاس (۲)/ طرح (۲) در شکل ۲-۱۱ ارائه شده است.

جدول (۲-۴): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۲) براساس طرح (۲)

| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | تجهیزات مانیتورینگ | تجهیزات اندازه‌گیری |
| --- | --- | --- | --- |
| • کلید سنکرون<br>• AVR در مد $\cos\phi$ ثابت<br>• گاورنر | **الزامی:**<br>• سنکرون‌چک (۲۵)<br>• افت ولتاژ (۲۷)<br>• توان معکوس (۳۲)*<br>• افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)**<br>• رله اضافه جریان آنی و معکوس زمانی (۵۰/۵۱)<br>• افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>**پیشنهادی:**<br>• اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)<br>• توالی فاز ولتاژ (۴۷)<br>• ROCOF (۸۱R)***<br>• جابجایی فاز (۷۸)*** | • نیاز ندارد. | • کنتورها<br>• ترانسفورماتورهای جریان (CT) |

* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

** استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد. رله اضافه ولتاژ آنی $59I$ برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در $PCC$)

*** در این طرح از این دو تابع حفاظتی تنها زمانی جهت آشکارسازی جزیره استفاده می‌شود که حداکثر بار محلی و یا دیماند بار محلی نزدیک به میزان ظرفیت تولید $DG$ باشد و یا حداقل بار سالیانه ترانسفورماتور توزیع نزدیک به ظرفیت $DG$ باشد.

**راهنمای حفاظت**

۲۵- سنکرون چک
۲۷- زیر ولتاژ
۲۷R- زیر ولتاژ لحظه‌ای
۳۲- توان معکوس
۴۶- توالی فاز منفی
۴۷- توالی فاز ولتاژ
۴۹- دمای سیم‌بندی ولتاژ
۵۰/۵۱- اضافه جریان لحظه‌ای/ تاخیری
۵۹I- اضافه ولتاژ سریع
۵۹T- اضافه ولتاژ تاخیری
۸۱/O- اضافه فرکانس
۸۱/U- زیر فرکانس

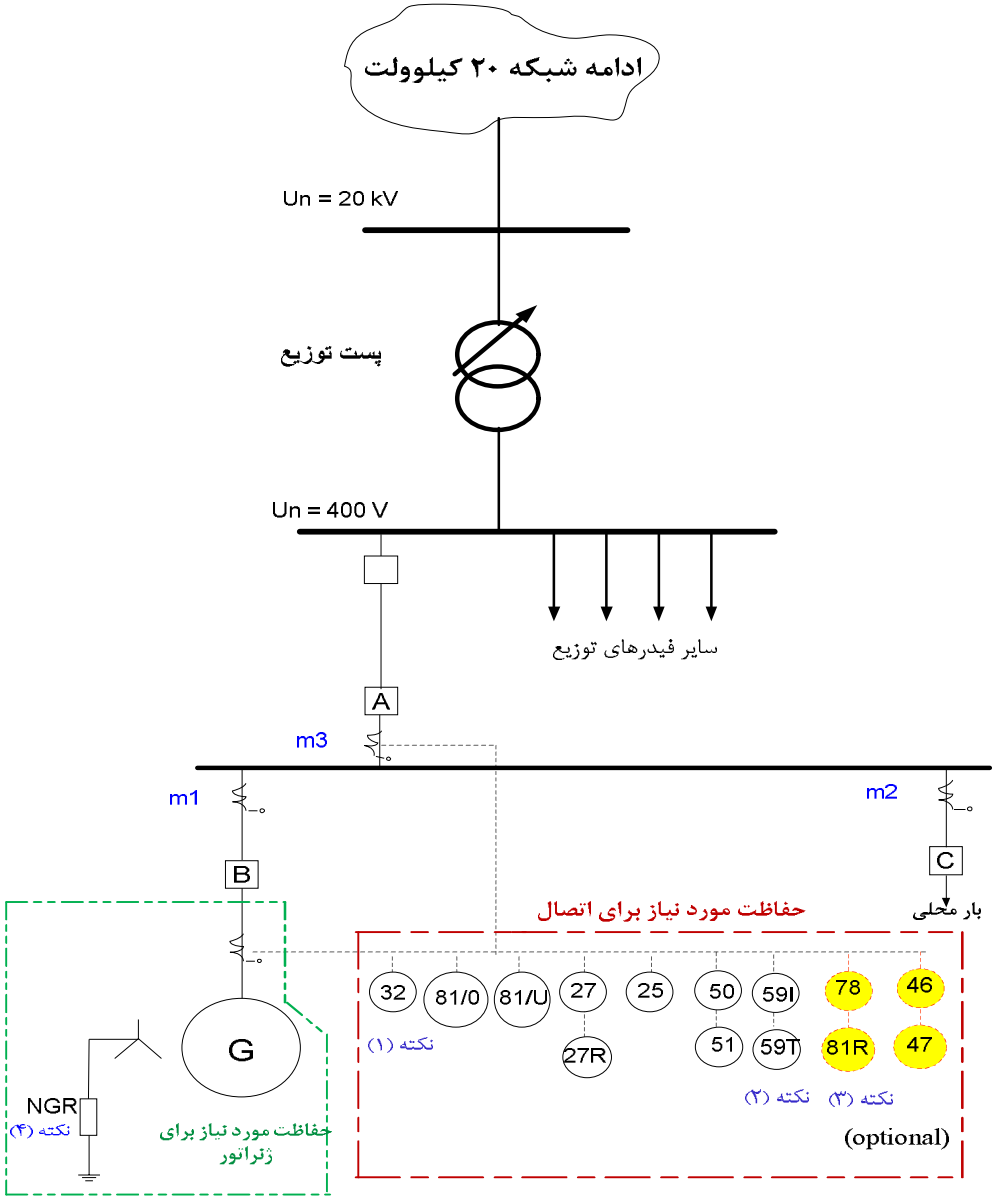
**راهنمای نقشه**

اندازه گیری

ترانسفورماتور

مقاومت زمین کننده نول

کلید قدرت




شکل (۲-۱۱): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۲ از طریق طرح ۲ به شبکه

**برخی از نکات شکل ۲-۱۱:**

**نکته ۱:**

رله توان معکوس (۳۲)، برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

**نکته ۲:**

استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد. رله اضافه ولتاژ سریع ۵۹$I$ برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در $PCC$)

**نکته ۳:**

از توابع حفاظتی $ROCOF$ و جابجایی فاز در این طرح، تنها زمانی جهت آشکارسازی جزیره استفاده می‌شود که حداکثر بار محلی و یا دیماند بار محلی نزدیک به میزان ظرفیت تولید $DG$ باشد و یا حداقل بار سالیانه ترانسفورماتور توزیع نزدیک به میزان تولید $DG$ باشد.

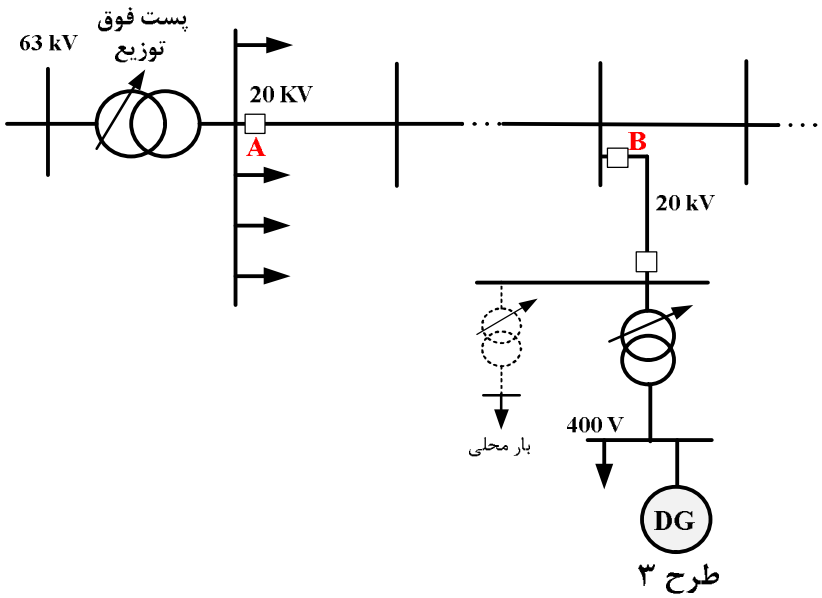
**نکته ۴:**

لزوم استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور ($NGR$) با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

## ۲-۵- منابع تولید پراکنده کلاس (۲) و طرح اتصال (۳)

شکل ۲-۱۲ نحوه اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه بر اساس طرح (۳) را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۱-۲، منابع تولید پراکنده کلاس‌های ۲، ۳ و ۴، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت بین ۲۰ کیلووات تا ۷ مگاوات، از طریق این طرح می‌توانند به شبکه توزیع متصل شوند که البته نتایج حاصل از مطالعات اتصال‌کوتاه و پخش‌بار تعیین می‌کند که آیا اتصال مولدهای یک کلاس از طریق یک طرح امکان‌پذیر می‌باشد یا خیر. در این قسمت ژنراتورهای کلاس ۲، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت ۲۰ تا ۲۰۰ کیلووات را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

با توجه به شکل ۲-۱۲، منابع تولید پراکنده در این طرح از طریق یک ترانسفورماتور اختصاصی، به وسط فیدر $۲۰kV$ پست فوق توزیع متصل می‌شود.




شکل (۲-۱۲): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۳)

### ۲-۵-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده، کلیدهای قدرت و سکسیونر از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده $DG$ به شبکه بشمار می‌روند و حتماً بایستی با دقت انتخاب و در جای مناسب نصب شوند. در برخی از فیدرهای توزیع احتمال استفاده از ریکلوزر در ابتدای فیدر وجود دارد، در چنین مواردی باید هماهنگی لازم بین تجهیزات حفاظتی و قطع‌کننده $DG$ و ریکلوزر وجود داشته باشد تا در صورت ایجاد جزیرهٔ ناخواسته در شبکه از اتصال خارج از فاز $DG$ به شبکه و آسیب‌های احتمالی در اثر وصل مجدد ریکلوزر جلوگیری به عمل آید. سایر تجهیزات جانبی مورد نیاز در این طرح عبارتند از:

### الف- تجهیزات کنترلی

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد تحریک ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار بگیرد و توان تولیدی در این ضریب توان ثابت به شبکه تزریق شود، زیرا در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است و مولد نباید به صورت فعال ولتاژ را تنظیم کند.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌گردد و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد و توانی به شبکه تزریق نمی‌کند، می‌توان $AVR$ ژنراتور را در مود $PV$ قرار داد، تا مولد ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند. چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی توسط ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور با فرکانس شبکه نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

### ب- تجهیزات حفاظتی

در بررسی تجهیزات حفاظتی، نکته مهمی که باید مد نظر قرار داد این است که در این راهنما هدف بررسی حداقل تجهیزات حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال $DG$ به شبکه است، به عبارت دیگر هدف حفاظت شبکه در برابر تأثیرات ناشی از $DG$ است و طرحهای حفاظتی که در این راهنما ارائه می‌شود تضمینی برای حفاظت موتور و ژنراتور تولید پراکنده نیست. مسئولیت حفاظت از مولد پراکنده بر عهده مالک $DG$ است و مالک $DG$ باید برای حفاظت مولدهای خود در برابر اغتشاشات مختلف حفاظت‌های لازم را پیش‌بینی نماید.

بمنظور تعیین حداقل تجهیزات مورد نیاز جهت حفاظت سیستم اتصال $DG$ به شبکه دو حالت زیر را می‌توان مورد بررسی قرار داد:

### ➢ مولدهای دارای بار محلی

در این صورت، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف یک بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک $DG$ است، به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه در قراردادی که بین مالک $DG$ و مالک شبکه منعقد می‌شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، باید از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی مشخص می‌شود، استفاده گردد تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود.

از آنجایی در کلاس ۲، حداکثر ظرفیت مولدهای پراکنده ۲۰۰ کیلووات است، در صورتی که ظرفیت مولد کمتر از یک سوم حداقل بار سالیانه فیدر باشد، هنگامی که فیدر ۲۰ کیلوولت به هر دلیلی از سر خط (نقطه $A$ در شکل ۲-۱۲) قطع می‌شود، به دلیل افت ولتاژ و فرکانسی که در نقطه اتصال ایجاد می‌شود، رله-های ولتاژی و فرکانسی عمل خواهند کرد و $DG$ از مدار جدا خواهد شد. اما اگر ظرفیت مولد نسبت به حداقل بار سالیانه فیدر قابل مقایسه باشد باید یا از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ (با تنظیمات صحیح جهت جلوگیری از ایجاد جزیره ناخواسته) و یا از سیستم انتقال تریپ استفاده نمود. که البته در اکثر موارد به دلیل کم بودن ظرفیت $DG$ نسبت به حداقل بار فیدر ۲۰ کیلوولت در کلاس ۲، نیازی به استفاده از انتقال تریپ و یا رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ نیست.

اما اگر قطعی در نقطه $B$ رخ دهد، در صورتی که $DG$ به صورت خود تأمین و دارای بار محلی باشد، مولدهای پراکنده، بعد از قطع شبکه، بار محلی خود را تغذیه خواهند کرد ولی بایستی از شبکه جدا شوند، تا اگر احیاناً بر روی فیدر تعمیراتی انجام می‌شود خطری متوجه پرسنل تعمیرات و نگهداری شبکه نباشد. حال اگر مقدار دیماند یا حداکثر مصرف بار محلی قابل توجه بوده و در حد میزان تولید $DG$ باشد، به دلیل اینکه تغییرات بلند مدت زیادی در ولتاژ و فرکانس محل اتصال $DG$ به شبکه رخ نمی‌دهد، باید از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ جهت جداسازی $DG$ از شبکه پس از قطعی کلید $B$ استفاده نمود.

اما چنانچه میزان حداکثر مصرف محلی کمتر از یک سوم تولید $DG$ باشد، به دلیل افزایش فرکانس و ولتاژ در محل اتصال، رله‌های ولتاژی و فرکانسی $DG$ را از شبکه جدا خواهند کرد و نیاز به رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز نیست.

در این طرح حداقل تجهیزات حفاظتی لازم که حتماً باید در نظر گرفته شوند، عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- رله توان معکوس (۳۲)
- رله اضافه ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)
- رله اضافه جریان آنی و معکوس زمانی (۵۰/۵۱)
- افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)

در کنار تجهیزات مذکور، تجهیزات و توابع حفاظتی نیز به عنوان حفاظت تکمیلی (در شرایط خاص) پیشنهاد می‌شود:

- رله اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)
- توالی فاز ولتاژ (۴۷)
- رله ROCOF (۸۱R)
- رله جابجایی فاز (۷۸)

### ➢ مولدهای بدون بار محلی

در صورتیکه مولد دارای بار محلی نباشد و تمام توان تولیدی توسط مولد پراکنده به شبکه تزریق شود، نیازی به استفاده از رله توان معکوس و یا حداقل توان در سیستم اتصال *DG* به شبکه نیست. بنابراین در این حالت نیز تمام حفاظت‌های بالا در سیستم اتصال مورد استفاده قرار می‌گیرد به جز رله توان معکوس (۳۲). همچنین اگر قطعی در نقطه *B* از فیدر متصل کننده *DG* به شبکه رخ دهد، و مولد دارای بار محلی نباشد، به علت افزایش فرکانس و ولتاژ در نقطه اتصال *DG* به شبکه، رله‌های ولتاژی و فرکانسی عمل کرده و باعث قطع اتصال *DG* از شبکه خواهند شد و نیازی به استفاده از رله‌های *ROCOF* و جابجایی فاز نخواهد بود.

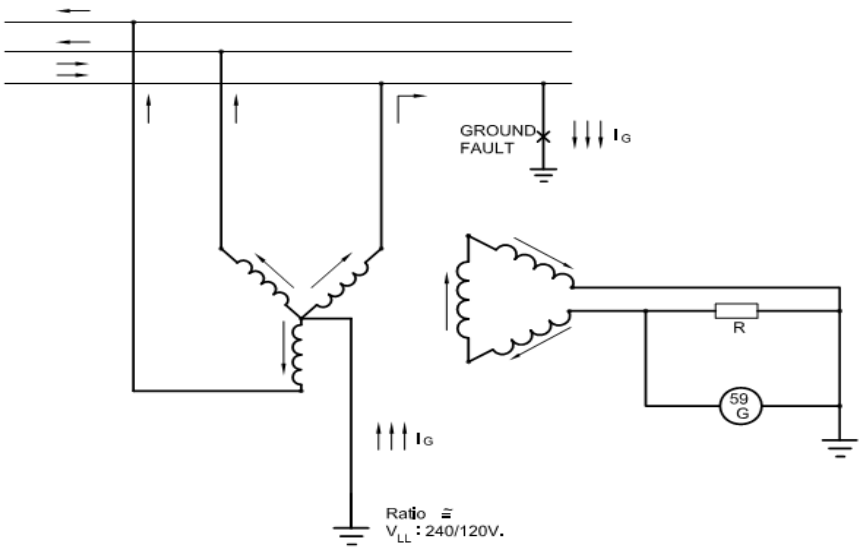
نکته قابل توجه دیگری که در هنگام طراحی سیستم حفاظتی باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور متصل‌کننده *DG* به شبکه است. برخی از توابع حفاظتی و طرح‌های حفاظتی با توجه به نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور تغییر می‌کنند.

با توجه به مزایایی که استفاده از ترانسفورماتورهای *YNd* نسبت به ترانسفورماتورهای رایج *Dyn* جهت اتصال مولدهای پراکنده به شبکه توزیع دارند، مثل تشخیص آسان‌تر وقوع خطای تکفاز به زمین در سمت

شبکه و ... ، در این راهنما طرحی که برای سیستم حفاظت پیشنهاد شده است بر اساس استفاده از ترانسفورماتور *YNd* است، که در شکل ۲-۱۵ نیز نشان داده شده است. در صورت استفاده از ترانسفورماتور *Dyn* برای اتصال *DG* به شبکه، که در آن سمت فشارمتوسط ترانسفورماتور متصل‌کننده *DG* به شبکه دارای اتصال مثلث است، علاوه بر حفاظت‌های نشان داده شده در شکل ۲-۱۵، یکی از روش‌های زیر نیز باید بمنظور آشکارسازی خطاهای تکفازی که در سمت شبکه رخ می‌دهند، بکار گرفته شود:

- در روش اول، باید حداقل بار سالیانه فیدری که *DG* به آن متصل می‌شود، از سه برابر ظرفیت *DG* بیشتر باشد. در اینصورت چنانچه به هر دلیلی (از جمله عملکرد رله ابتدای خط به دلیل تشخیص خطای اتصال کوتاه تکفاز در وسط خط) فیدر ۲۰ کیلوولت قطع گردید، بار شبکه بیشتر از سه برابر ظرفیت نامی *DG* باشد که منجر به افت بیش از حد مجاز ولتاژ و فرکانس در نقطه اتصال *DG* به شبکه شود. که این امر عملکرد سیستم حفاظتی و رله‌های ولتاژی و فرکانسی را در پی خواهد داشت و موجب قطع *DG* از شبکه خواهد شد.
- در روش دوم، در سمت فشار متوسط ترانسفورماتور *DG* یا باید از ترانسفورماتور زمین جهت ایجاد نقطه نول استفاده شود و یا از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز که اولیه آنها به صورت ستاره زمین‌شده و ثانویه آنها دارای اتصال مثلث باز است و توسط رله ۵۹*G* بسته می‌شود. که این امر در شکل ۲-۱۳ نیز نشان داده شده است.

در این صورت چنانچه خطای تکفاز در سمت شبکه رخ دهد به دلیل عدم تعادل ولتاژی که بین فازهای مختلف به وجود می‌آید، رله ۵۹*G* تحریک شده و دستور قطع *DG* را صادر می‌کند.




شکل (۲-۱۳): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز

- در روش سوم از سیستم انتقال تریپ جهت آشکارسازی خطاهای تکفاز به زمین در سمت شبکه و جلوگیری از به وجود آمدن جزیره ناخواسته توسط $DG$ استفاده می‌شود. در این روش چنانچه خطای تکفازی در سمت شبکه رخ دهد، تجهیزات حفاظتی شبکه وقوع خطا را تشخیص داده و باعث قطع کلید سر فیدر فشارمتوسط می‌شوند، به محض قطع شدن این کلید یک سیگنال توسط سیستم انتقال تریپ به کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه ارسال می‌شود و باعث جدا شدن $DG$ از شبکه و توقف تزریق انرژی توسط $DG$ به شبکه می‌شود.

بنابراین، در صورت استفاده از ترانسفورماتور $Dyn$ در طرح ارائه شده در شکل ۲-۱۵ به جای ترانسفورماتور $YNd$، علاوه بر حفاظتهای نشان داده شده در این شکل، باید یکی از تمهیدات فوق نیز اندیشیده شود.

### ج- تجهیزات اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت مولدهای کلاس ۲ کمتر از $۲۰۰kW$ است، استفاده از سیستم مانیتورینگ برای این کلاس الزامی نیست. وجود تله‌متری و ارتباط با مرکز کنترل از طریق سیستم اسکادا نیز الزامی نیست.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد تولیدی توسط $DG$ وجود دارد، لازم است بهره‌بردار شبکه کنتورهایی را جهت ثبت انرژی ورودی ($kWh\ (in)$) و انرژی خروجی ($kWh\ (out)$) نصب کند. به طور کلی دو حالت زیر را برای نصب کنتور می‌توان مورد بررسی قرار داد:

الف- مولدهای خود تأمین و دارای بار محلی

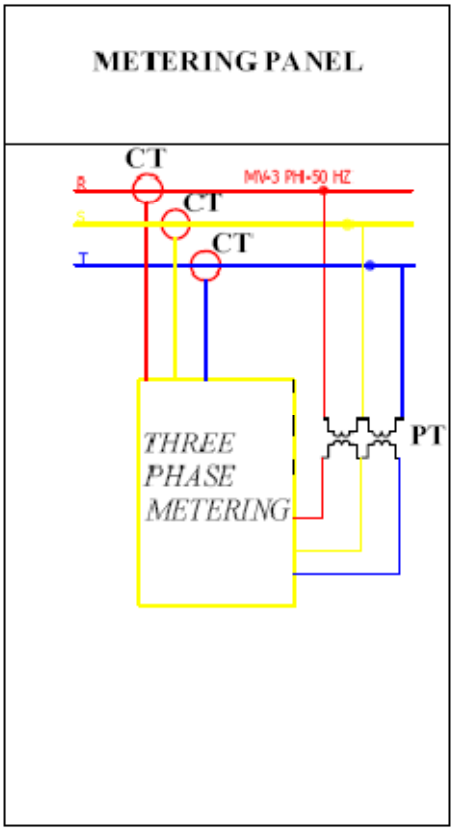
- در صورتی که بار محلی از طریق همان ترانسفورماتوری که $DG$ را به شبکه متصل کرده تغذیه شود، در این حالت به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_۱$ در شکل ۲-۱۵) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_۲$ در شکل ۲-۱۵) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_۳$ در شکل ۲-۱۵) استفاده نماید که قابلیت اندازه‌گیری انرژی در هر دو جهت را داشته باشد انرژی که $DG$ به شبکه تزریق می‌کند و انرژی که از شبکه دریافت می‌کند.

- در صورتی که بار محلی از طریق یک ترانسفورماتور مجزا تغذیه شود، در اینصورت، باید از دو کنتور یک طرفه مجزا، به ترتیب یکی برای اندازه‌گیری میزان مصرف (در نقطه $m_۴$ در شکل ۲-۱۵) و دیگری برای اندازه‌گیری میزان توان تزریقی توسط $DG$ به شبکه (در نقطه $m_۳$ در شکل ۲-۱۵) استفاده شود.

ب- مولدهای بدون بار محلی

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام توان تولیدی توسط $DG$ به شبکه تزریق می‌شود، تنها استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه کفایت می‌کند.

از آنجایی که در طرح ۳ از یک ترانسفورماتور اختصاصی جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه استفاده می‌شود و نقطه اندازه‌گیری در قسمت بالادست ترانسفورماتور می‌باشد، بنابراین، ولتاژ در نقطه اندازه‌گیری در این حالت $kV$ ۲۰ می‌باشد. در نتیجه، کنتور به طور مستقیم نمی‌تواند ولتاژ سه‌فاز را اندازه-گیری نماید.




شکل (۲-۱۴): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۳

در این طرح، ولتاژ عمدتاً توسط دو دستگاه ترانسفورماتور ولتاژ با مشخصات مندرج در جدول ۲-۵ و جریان سه‌فاز با استفاده از سه دستگاه ترانسفورماتور جریان با مشخصات مندرج در جدول ۲-۶ تشخیص

داده می‌شوند. طرح اتصال لوازم اندازه‌گیری در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است. این طرح اتصال در مورد همه منابع تولید پراکنده‌ای که از طریق طرح ۳ به شبکه متصل می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول (۲-۵): مشخصات ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط

| TYPE | INDOOR |
|---|---|
| LINE TO LINE VOLTAGE | ۲۰ KV |
| MAXIMUM SERVICE VOLTAGE | ۲۴ KV |
| ONE MINUTE POWER – FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGE | |
| BETWEEN PRIMARY AND SECONDARY WINDING | ۵۰ KV |
| BETWEEN SECONDARY WINDING AND EARTH | ۲ KV |
| IMPULSE WITHSTAMD VOLTAGE | ۱۲۵ KV |
| RATED PRIMARY VOLTAGE | ۲۰۰۰۰ V |
| RATED SECONDARY VOLTAGE | ۱۰۰ V |
| ACCURACY CLASS | ۰.۵ |
| RATED BURDEN | ۳۰ VA |
| AMBIENT TEMPERATURE | -۲۵ C TO ۴۵ C |
| ALTITUDE ABOVE SEE LEVEL | ۱۰۰۰ M |
| APPLICAION | METERING |
| ENCLOSURE | CAST-RESIN INSULATED CASTING |

جدول (۲-۶): مشخصات ترانسفورماتور جریان فشار متوسط

| SPEFICATIONS | ۲۰ KV INDOOR CURRENT TRANSFORMERS |
|---|---|
| system to line voltage | ۲۰ kv |
| max service voltage | ۲۴ kv |
| rated primary current | * amps |
| rated secondary current | ۵ amps |
| test voltage insulation | ۵۵/۱۴۲ kv |
| nominal frequency | ۵۰ HZ |
| no of cores | SINGLE |
| application | Metering |
| class of accuracy | ۰.۵ |
| rated burden | ۱۵VA |
| thermal-one second current | ۲۰ kA |
| max dynamic current | ۵۰ kA |

جدول ۲-۷ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی در این طرح را نشان می‌دهد. دیاگرام تک‌خطی اتصال DG کلاس (۲)/ طرح (۳) در شکل ۲-۱۵ ارائه شده است.

جدول (۲-۷): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۲) براساس طرح (۳)

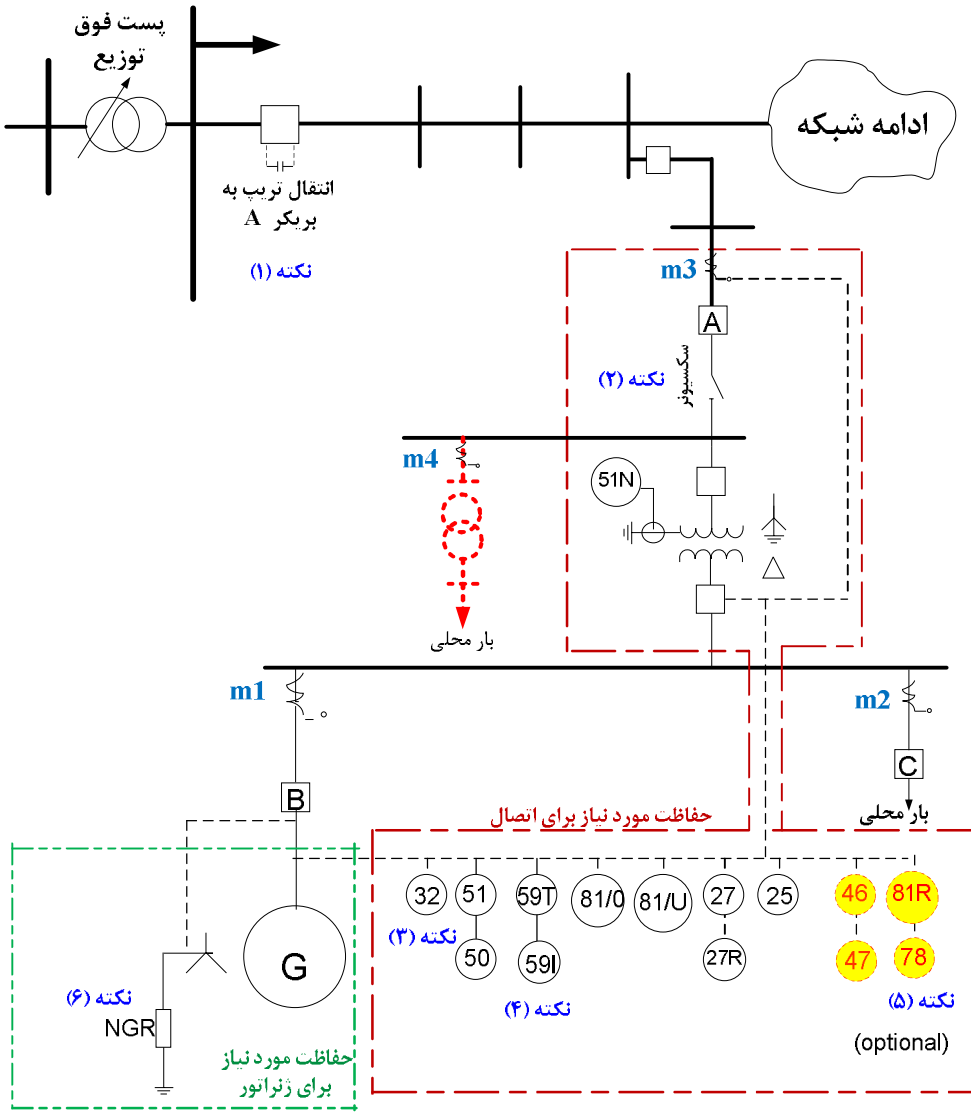
| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | تجهیزات مانیتورینگ | تجهیزات اندازه-گیری |
|---|---|---|---|
| • کلید سنکرون<br>• کلیدهای قدرت<br>• سکسیونر<br>• AVR در مد $\cos\phi$ ثابت<br>• گاورنر | **الزامی:**<br>• سنکرون‌چک (۲۵)<br>• افت ولتاژ (۲۷)<br>• توان معکوس (۳۲)*<br>• افزایش ولتاژ سریع و تاخیری (۵۹)**<br>• رله اضافه جریان آنی و معکوس زمانی (۵۰/۵۱)<br>• افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>**پیشنهادی:**<br>• اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)<br>• توالی فاز ولتاژ (۴۷)<br>• رله ROCOF (۸۱R)***<br>• رله جابجایی فاز (۷۸)*** | • الزامی نیست. | • کنتورها<br>• ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان (VT ،CT) |

* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

** استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد و یا هنگامی که از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز با اولیه ستاره زمین شده و ثانویه مثلث باز که با رله ۵۹$G$ بسته می‌شود، جهت آشکارسازی وقوع خطای تکفاز به زمین استفاده می‌شود. رله اضافه ولتاژ سریع ۵۹$I$ برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در $PCC$)

*** در این طرح از این دو تابع حفاظتی تنها زمانی جهت آشکارسازی جزیره استفاده می‌شود که حداکثر بار محلی و یا دیماند بار محلی نزدیک به میزان ظرفیت تولید $DG$ باشد و یا حداقل بار سالیانه فیدر ۲۰ کیلوولت پست فوق توزیع که $DG$ به آن متصل می‌شود در مقایسه با ظرفیت عملی $DG$ قابل مقایسه باشد.




**راهنمای حفاظت**

۲۵- سنکرون چک
۲۷- رله افت ولتاژ
۲۷R- رله افت ولتاژ لحظه‌ای
۳۲- توان معکوس
۴۶- اضافه جریان توالی فاز منفی
۴۷- توالی فاز ولتاژ
۵۰/۵۱- اضافه جریان آنی/ معکوس زمانی
۵۹I- اضافه ولتاژ آنی
۵۹T- اضافه ولتاژ تاخیری
۸۱/O- اضافه فرکانس
۸۱/U- افت فرکانس

**راهنـــمای نقشـه**

تعداد مورد نیاز (x)
اندازه گیری
مقاومت زمین کننده نول
بریکر
سکسیونر
ترانسفورماتور

شکل (۲-۱۵): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۲ از طریق طرح ۳ به شبکه توزیع

➢ **برخی از نکات شکل ۲-۱۵:**

**نکته ۱:**

در این طرح استفاده از انتقال تریپ در دو مورد می‌تواند برای جلوگیری از ایجاد جزیره ناخواسته استفاده شود:

الف- در صورت استفاده از ترانسفورماتوری با اتصال *Dyn* جهت اتصال *DG* به شبکه، جهت آشکارسازی خطاهای تکفاز ایجاد شده در سمت شبکه می‌توان از سیستم انتقال تریپ برای جداسازی *DG* بعد از وقوع خطا استفاده نمود.

ب- در صورتی که حداقل بار سالیانه فیدری که *DG* به آن متصل می‌شود، نسبت به میزان تولید *DG* قابل مقایسه باشد و یا دیماند و یا حداکثر مصرف بار محلی نسبت به ظرفیت *DG* قابل ملاحظه باشد. در چنین شرایطی می‌توان از سیستم انتقال تریپ جهت آشکارسازی شرایط جزیره‌ای استفاده نمود.

**نکته ۲:**

باید توجه داشته باشیم در صورت استفاده از سکسیونر باید تیغه زمین آن در سمت شبکه نباشد تا امکان زمین شدن شبکه وجود نداشته باشد.

**نکته ۳:**

رله توان معکوس (۳۲)، برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط *DG* به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

**نکته ۴:**

استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد و یا هنگامی که از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز با اولیه ستاره زمین شده و ثانویه مثلث باز که با رله ۵۹*G* بسته می‌شود، جهت آشکارسازی وقوع خطای تکفاز به زمین استفاده می‌شود. رله اضافه ولتاژ سریع ۵۹*I* برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در *PCC*)

**نکته ۵:**

از رله‌های *ROCOF* و جابجایی فاز زمانی استفاده می‌شود که ظرفیت *DG* از یک سوم حداقل بار سالیانه فیدر بیشتر باشد و یا حداکثر میزان مصرف بار محلی، کمتر از سه برابر ظرفیت *DG* باشد.

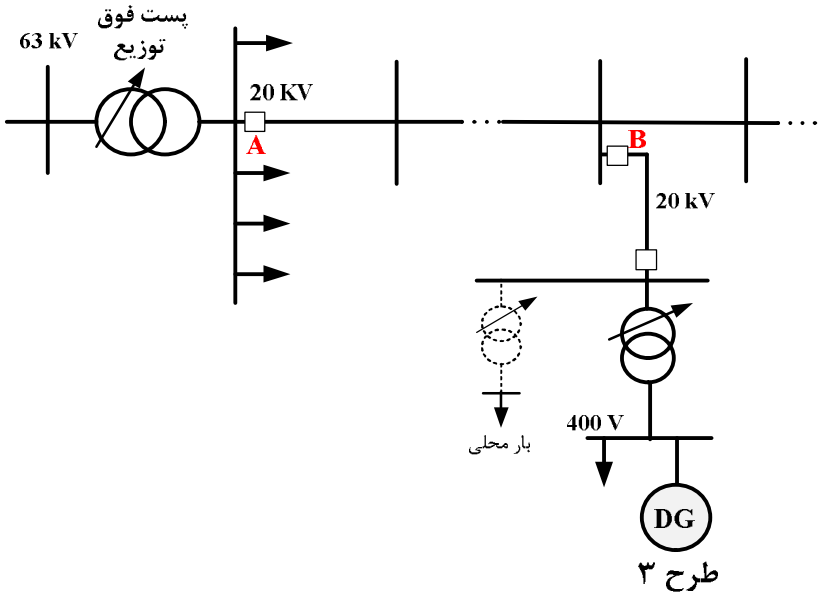
**نکته ۶:**

نیاز به استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور ($NGR$) و مقدار این مقاومت با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

## ۲-۶- منابع تولید پراکنده کلاس (۳) و طرح اتصال (۳)

شکل ۲-۱۶ نحوه اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه بر اساس طرح (۳) را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۱-۲، منابع تولید پراکنده کلاس‌های ۲، ۳ و ۴، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت بین ۲۰ کیلووات تا ۷ مگاوات، از طریق این طرح می‌توانند به شبکه توزیع متصل شوند. در این قسمت ژنراتورهای کلاس ۳, یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت ۲۰۰ کیلووات تا ۱ مگاوات را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

با توجه به شکل ۲-۱۶، منابع تولید پراکنده در این طرح از طریق یک ترانسفورماتور اختصاصی به وسط فیدر $۲۰kV$ پست فوق توزیع متصل می‌شود.




شکل (۲-۱۶): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۳)

هدف از بکارگیری یک ترانسفورماتور اختصاصی این است که چون جریان تزریق شده توسط ژنراتور به شبکه در سطح ۴۰۰ ولت زیاد است و هادی‌های شبکه نمی‌توانند به لحاظ حرارتی این جریان را تحمل کنند، بنابراین سطح ولتاژ از ۴۰۰ ولت به ۲۰ کیلوولت افزایش می‌یابد، همچنین برای اینکه ژنراتور بتواند توان خود را به شبکه تزریق کند باید سطح ولتاژ افزایش یابد تا به حد سطح ولتاژ شبکه برسد. به علاوه، استفاده از ترانسفورماتور باعث کاهش سطح اتصال‌کوتاه شبکه و کاهش تأثیرگذاری $DG$ بر شبکه و برعکس خواهد شد و تا حدی از افت و خیزهای ولتاژ جلوگیری کرده و باعث می‌شود هارمونیک‌های تولیدی توسط ژنراتور به سمت شبکه انتقال پیدا نکند.

### ۲-۶-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

وجود تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده، کلیدهای قدرت و سکسیونر از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده $DG$ به شبکه بشمار می‌رود و حتماً بایستی با دقت انتخاب و در جای مناسب نصب شوند. در برخی از فیدرهای توزیع احتمال استفاده از ریکلوزر در ابتدای فیدر وجود دارد، در چنین مواردی باید هماهنگی لازم بین تجهیزات حفاظتی و قطع‌کننده $DG$ و ریکلوزر وجود داشته باشد تا در صورت ایجاد جزیرهٔ ناخواسته در شبکه از اتصال خارج از فاز $DG$ به شبکه و آسیب‌های احتمالی در اثر وصل مجدد ریکلوزر جلوگیری به عمل آید. سایر تجهیزات جانبی مورد نیاز در این طرح عبارتند از:

#### الف- تجهیزات کنترلی

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد تحریک ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار بگیرد و توان تولیدی در این ضریب توان ثابت به شبکه تزریق شود. در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است و مولد نباید به صورت فعال ولتاژ را تنظیم کند.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌گردد و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد و توانی به شبکه تزریق نمی‌کند، می‌توان $AVR$ ژنراتور را در مود $PV$ قرار داد، تا مولد ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند. چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی توسط ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور با فرکانس شبکه نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

#### ب- تجهیزات حفاظتی

در این راهنما، نکته مهمی که باید مد نظر قرار داد این است که در این راهنما، هدف بررسی حداقل تجهیزات حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال $DG$ به شبکه است، به عبارت دیگر هدف حفاظت شبکه در برابر تأثیرات ناشی از $DG$ است و طرحهای حفاظتی که در این راهنما ارائه می‌شود تضمینی برای

حفاظت موتور و ژنراتور تولید پراکنده نیست. مسئولیت حفاظت از $DG$ بر عهده مالک $DG$ است و مالک $DG$ باید برای حفاظت مولدهای خود در برابر اغتشاشات مختلف حفاظت‌های لازم را پیش‌بینی نماید.

بمنظور تعیین حداقل تجهیزات مورد نیاز جهت حفاظت سیستم اتصال $DG$ به شبکه دو سناریوی زیر را می‌توان مورد بررسی قرار داد:

### ➢ مولدهای دارای بار محلی

در این صورت، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک $DG$ است، به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه در قراردادی که بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه منعقد می‌شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، باید از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی مشخص می‌شود، استفاده گردد تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود.

از آنجایی در کلاس ۳، حداکثر ظرفیت مولدهای پراکنده، ۱ مگاوات است، در صورتی که ظرفیت مولد کمتر از یک سوم حداقل بار سالیانه فیدر باشد، هنگامی که فیدر ۲۰ کیلوولت به هر دلیلی از سر خط (نقطه $A$ در شکل ۲-۱۶) قطع می‌شود، به دلیل افت ولتاژ و فرکانسی که در نقطه اتصال ایجاد می‌شود، رله‌های ولتاژی و فرکانسی عمل خواهند کرد و $DG$ از مدار جدا خواهد شد. اما اگر ظرفیت مولد نسبت به حداقل بار سالیانه فیدر قابل ملاحظه باشد باید یا از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ جهت جلوگیری از ایجاد جزیره ناخواسته استفاده نمود و یا از سیستم انتقال تریپ استفاده نمود. استفاده از سیستم انتقال تریپ در مقایسه با استفاده از رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز قابلیت اطمینان بالاتری دارد، اما هزینه بالاتری را نیز به‌همراه دارد.

اما اگر قطعی در نقطه $B$ رخ دهد، در صورتی که $DG$ به صورت خود تأمین و دارای بار محلی باشد، مولدهای پراکنده، بعد از قطع شبکه، بار محلی خود را تغذیه خواهند کرد ولی بایستی از شبکه جدا شوند، تا اگر احیاناً بر روی فیدر تعمیراتی انجام می‌شود خطری متوجه پرسنل تعمیرات و نگهداری شبکه نباشد. حال اگر مقدار دیماند یا حداکثر مصرف بار محلی قابل توجه بوده و در حد میزان تولید $DG$ باشد،

یا باید از رله‌های جابجایی فاز و *ROCOF* جهت جداسازی *DG* از شبکه پس از قطعی کلید *B* استفاده نمود و یا از سیستم انتقال تریپ بین کلید *B* و کلید متصل‌کننده *DG* به شبکه استفاده نمود.

اما چنانچه میزان حداکثر مصرف محلی کمتر از یک سوم تولید *DG* باشد، به دلیل افزایش فرکانس و ولتاژ در محل اتصال، رله‌های ولتاژی و فرکانسی *DG* را از شبکه جدا خواهند کرد و نیاز به انتقال تریپ و یا رله‌های *ROCOF* و جابجایی فاز نیست.

در این طرح حداقل تجهیزات حفاظتی لازم که حتماً باید در نظر گرفته شوند، عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- رله توان معکوس (۳۲)
- رله اضافه ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)
- رله اضافه جریان آنی و معکوس زمانی (۵۰/۵۱)
- افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)

در کنار تجهیزات مذکور، تجهیزات و توابع حفاظتی نیز به عنوان حفاظت تکمیلی پیشنهاد می‌شود:

- توالی اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)
- توالی فاز ولتاژ (۴۷)
- رله ROCOF (۸۱R)
- رله جابجایی فاز (۷۸)

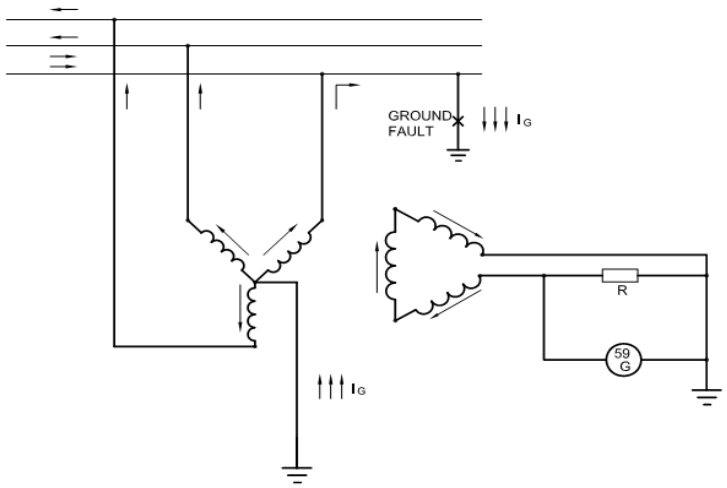
### ➢ مولدهای بدون بار محلی

در صورتیکه مولد دارای بار محلی نباشد و تمام توان تولیدی توسط مولد پراکنده به شبکه تزریق شود، نیازی به استفاده از رله توان معکوس و یا حداقل توان در سیستم اتصال *DG* به شبکه نیست. بنابراین در این حالت نیز تمام حفاظت‌های بالا در سیستم اتصال مورد استفاده قرار می‌گیرد به جز رله توان معکوس (۳۲). همچنین اگر قطعی در نقطه *B* از فیدر متصل کننده *DG* به شبکه رخ دهد، و مولد دارای بار محلی نباشد، به علت افزایش فرکانس و و لتاژ در نقطه اتصال *DG* به شبکه، رله‌های ولتاژی و فرکانسی عمل کرده و باعث قطع اتصال *DG* از شبکه خواهند شد و نیازی به استفاده از رله‌های *ROCOF* و جابجایی فاز و یا سیستم انتقال تریپ بین کلید *B* و کلید متصل‌کننده *DG* به شبکه نخواهد بود.

نکته قابل توجه دیگری که در هنگام طراحی سیستم حفاظتی باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، نوع اتصال ترانسفورماتور متصل‌کننده *DG* به شبکه است. برخی از توابع حفاظتی و طرح‌های حفاظتی با توجه به نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور تغییر می‌کنند.

با توجه به مزایایی که استفاده از ترانسفورماتورهای *YNd* نسبت به ترانسفورماتورهای رایج *Dyn* دارند، مثل تشخیص آسان‌تر وقوع خطای تکفاز به زمین در سمت شبکه و ...، در این راهنما طرحی که برای سیستم حفاظت پیشنهاد شده است، بر اساس استفاده از ترانسفورماتور *YNd* است، که در شکل ۳-۱۹ نیز نشان داده شده است. در صورت استفاده از ترانسفورماتور *Dyn* برای اتصال *DG* به شبکه، که در آن سمت فشارمتوسط ترانسفورماتور دارای اتصال مثلث است، علاوه بر حفاظت‌های نشان داده شده در شکل ۲-۱۸ یکی از روش‌های زیر نیز باید بمنظور آشکارسازی خطاهای تکفازی که در سمت شبکه رخ می‌دهند، بکار گرفته شود:

- یا باید حداقل بار سالانه فیدری که *DG* به آن متصل است، از سه برابر ظرفیت *DG* بیشتر باشد، که چنانچه به هر دلیلی فیدر ۲۰ کیلوولت قطع گردید بار شبکه بیشتر از سه برابر ظرفیت نامی *DG* باشد، که این امر منجر به افت بیش از حد مجاز ولتاژ و فرکانس در نقطه اتصال *DG* به شبکه خواهد شد، که عملکرد سیستم حفاظتی و قطع *DG* را در پی خواهد داشت و از ایجاد جزیره ناخواسته جلوگیری خواهد کرد.
- در سمت فشار متوسط یا باید از ترانسفورماتور زمین استفاده شود و یا از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز که اولیه آنها به صورت ستاره زمین‌شده و ثانویه آنها دارای اتصال مثلث باز است و توسط رله *59G* بسته می‌شود. که این امر در شکل ۲-۱۷ نیز نشان داده شده است.




**شکل (۲-۱۷): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز**

در این صورت نیز چنانچه خطای تکفاز در سمت شبکه رخ دهد به دلیل عدم تعادل ولتاژی که بین فازهای مختلف به وجود می‌آید، رله $59G$ تحریک شده و دستور قطع $DG$ را صادر می‌کند.

- در روش سوم از سیستم انتقال تریپ جهت آشکارسازی خطاهای تکفاز به زمین در سمت شبکه و جلوگیری از به وجود آمدن جزیره ناخواسته توسط $DG$ استفاده می‌شود. در این روش چنانچه خطای تکفازی در سمت شبکه رخ دهد، حفاظتهای موجود در شبکه وقوع خطا را تشخیص داده و کلید سر فیدر فشارمتوسط را قطع می‌کنند، به محض قطع شدن این کلید یک سیگنال توسط سیستم انتقال تریپ به کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه ارسال می‌شود و باعث جدا شدن $DG$ از شبکه و توقف تزریق انرژی توسط $DG$ به شبکه می‌شود.

بنابراین، در صورت استفاده از ترانسفورماتور $Dyn$ در طرح ارائه شده در شکل ۲-۱۷، باید یکی از تمهیدات فوق اندیشیده شود.

## ج- تجهیزات اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت مولدهای کلاس ۳ بیشتر از $۲۰۰kW$ است، بنابراین، بر طبق استاندارد $IEEE$ $std$ ۱۵۴۷ باید برخی از پارامترها در سیستم اتصال $DG$ به شبکه مانیتور شود. بر طبق این استاندارد در مورد مانیتورینگ مولدهای پراکنده بالای $۲۰۰kW$ داریم:

"مولدهای مقیاس کوچک با ظرفیت (یا مجموع ظرفیت متصل به یک نقطه اتصال مشترک) ۲۰۰ کیلووات یا بیشتر یعنی کلاسهای ۳ و۴ و ۵ باید دارای تجهیزاتی برای مانیتورینگ و پایش وضعیت سیستم متصل‌کننده مولد به شبکه (وضعیت کلید $PCC$)، توان اکتیو خروجی، توان راکتیو خروجی و ولتاژ در نقطهٔ اتصال مولد به شبکه باشند. این مانیتورینگ می‌تواند به صورت محلی یا از راه دور باشد."

البته وضعیت درب پست پاساژ نیز یکی از پارامترهایی است که با توافقی که بین مالک DG بهره-بردار شبکه انجام می‌شود، می‌تواند مانیتور گردد.

ملزومات مورد نیاز برای مانیتورینگ شامل موارد زیر می‌باشد:

- ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان
- پورتهای نرم‌افزاری[۱] بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز
- تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری
- RTUها

[۱] Software ports

– ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ

بنابر توافقی که صورت می‌گیرد، هزینه قسمتی از تجهیزات مانیتورینگ که در سمت پست پاساژ قرار می‌گیرد بر عهده مالک $DG$ و هزینه تجهیزات مورد نیاز در سمت دیسپاچینگ توزیع، بر عهده بهره‌بردار شبکه خواهد بود.

در صورتیکه، مالک $DG$ طبق توافقی که با بهره‌بردار شبکه صورت می‌گیرد قصد تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و فقط بخواهد یک بار محلی را تغذیه کند، در هیچ صورتی $DG$ اجازه تزریق توان به شبکه را ندارد و در صورت قطع بارهای متصل به $DG$، در صورتی که $DG$ بخواهد به شبکه توان تزریق کند، رله توان معکوس فرمان قطع $DG$ را صادر می‌کند.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد تولیدی توسط $DG$ وجود دارد، لازم است بهره‌بردار شبکه کنتورهایی را جهت ثبت انرژی ورودی ($kWh\ (in)$) و انرژی خروجی ($kWh\ (out)$) نصب کند. به طور کلی دو حالت زیر را برای نصب کنتور می‌توان مورد بررسی قرار داد:

الف- مولدهای خود تأمین و دارای بار محلی

- در صورتی که بار محلی از طریق همان ترانسفورماتوری که $DG$ را به شبکه متصل کرده تغذیه شود، در این حالت به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_1$) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_2$) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_3$) استفاده نماید که قابلیت اندازه‌گیری انرژی در هر دو جهت را داشته باشد، هم انرژی که $DG$ به شبکه تزریق می‌کند و هم انرژی که از شبکه دریافت می‌کند. که این امر در دیاگرام شکل ۲-۱۸ نیز نشان داده شده است.
- در صورتی که بار محلی از طریق یک ترنسفورماتور مجزا تغذیه شود، در اینصورت، باید از دو کنتور یک طرفه مجزا، به ترتیب یکی برای اندازه‌گیری میزان مصرف (در نقطه $m_4$) و دیگری برای اندازه‌گیری میزان توان تزریقی توسط $DG$ به شبکه (در نقطه $m_3$) استفاده شود.

**ب- مولدهای بدون بار محلی**

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام توان تولیدی توسط *DG* بـه شـبکه تزریق می‌شود، تنها استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شـبکه کفایـت می‌کند.

نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در این حالت همانند مولدهای کلاس ۲ که از طریق طـرح ۳ بـه شـبکه متصل می‌شوند، می‌باشد.

جدول ۲-۸ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی در این طرح را نشـان مـی‌دهـد. دیـاگرام تـک‌خطـی اتصال *DG* کلاس (۳)/ طرح (۳) در شکل ۲-۱۸ ارائه شده است.

جدول (۲-۸): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال $DG$ کلاس (۳) براساس طرح (۳)

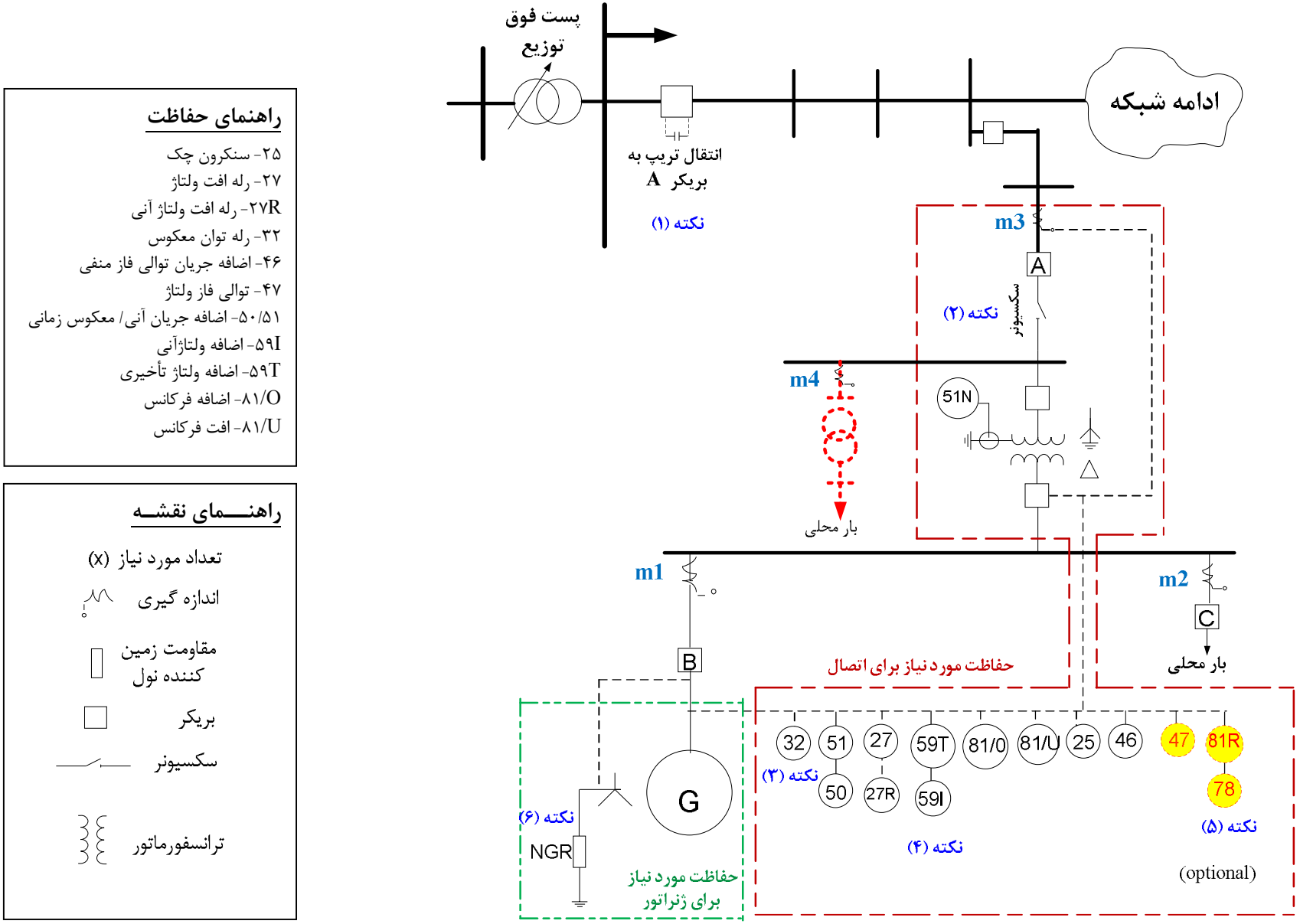
| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | تجهیزات اتوماسیون و مانیتورینگ | تجهیزات اندازه-گیری |
|---|---|---|---|
| • کلید سنکرون و کلیدهای قدرت<br>• سکسیونر<br>• AVR<br>• گاورنر | **الزامی:**<br>• سنکرون‌چک (۲۵)<br>• افت ولتاژ (۲۷)<br>• توان معکوس (۳۲)*<br>• افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)<br>• رله اضافه جریان آنی و معکوس زمانی (۵۰/۵۱)<br>• افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>• اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)<br>**پیشنهادی:**<br>• توالی فاز ولتاژ (۴۷)<br>• رله ROCOF (۸۱R)**<br>• رله جابجایی فاز (۷۸)** | • ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان<br>• پورتهای نرم‌افزاری بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز<br>• تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری<br>• RTUها<br>• ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ<br>• انتقال تریپ | • کنتورها<br>• ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ (VT ،CT) |

* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

** استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد و یا هنگامی که از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز با اولیه ستاره زمین شده و ثانویه مثلث باز که با رله ۵۹$G$ بسته می‌شود، جهت آشکارسازی وقوع خطای تکفاز به زمین استفاده می‌شود. رله اضافه ولتاژ سریع ۵۹$I$ برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در $PCC$)

*** در این طرح از این دو تابع حفاظتی تنها زمانی جهت آشکارسازی جزیره استفاده می‌شود که حداکثر بار محلی و یا دیماند بار محلی نزدیک به میزان ظرفیت تولید $DG$ باشد و یا حداقل بار سالیانه فیدر ۲۰ کیلوولت پست فوق توزیع که $DG$ به آن متصل می‌شود در مقایسه با ظرفیت عملی $DG$ قابل مقایسه باشد.




شکل (۲-۱۸): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۳ از طریق طرح ۳ به شبکه توزیع

➢ **برخی از نکات شکل ۲-۱۸:**

**نکته ۱:**

در این طرح استفاده از انتقال تریپ در دو مورد می‌تواند برای جلوگیری از ایجاد جزیره ناخواسته استفاده شود:

الف- در صورت استفاده از ترانسفورماتوری با اتصال $Dyn$ جهت اتصال $DG$ به شبکه، جهت آشکارسازی خطاهای تکفاز ایجاد شده در سمت شبکه می‌توان از سیستم انتقال تریپ برای خروج $DG$ بعد از وقوع خطا استفاده نمود.

ب- در صورتی که حداقل بار سالیانه فیدری که $DG$ به آن متصل می‌شود، نسبت به میزان تولید $DG$ قابل مقایسه باشد و یا دیماند و یا حداکثر مصرف بار محلی نسبت به ظرفیت $DG$ قابل ملاحظه باشد. در چنین شرایطی می‌توان از سیستم انتقال تریپ جهت آشکارسازی شرایط جزیره‌ای استفاده نمود.

**نکته ۲:**

باید توجه داشته باشیم در صورت استفاده از سکسیونر باید تیغه زمین آن در سمت شبکه نباشد تا امکان زمین شدن شبکه وجود نداشته باشد.

**نکته ۳:**

رله توان معکوس (۳۲)، برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارند.

**نکته ۴:**

استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد و یا هنگامی که از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز با اولیه ستاره زمین شده و ثانویه مثلث باز که با رله $59G$ بسته می‌شود، جهت آشکارسازی وقوع خطای تکفاز به زمین استفاده می‌شود. رله اضافه ولتاژ سریع $59I$ برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در $PCC$)

**نکته ۵:**

از رله‌های *ROCOF* و جابجایی فاز زمانی استفاده می‌شود که ظرفیت *DG* از یک سوم حداقل بار سالیانه فیدر بیشتر باشد و یا حداکثر میزان مصرف بار محلی، کمتر از سه برابر ظرفیت *DG* باشد.

**نکته ۶:**

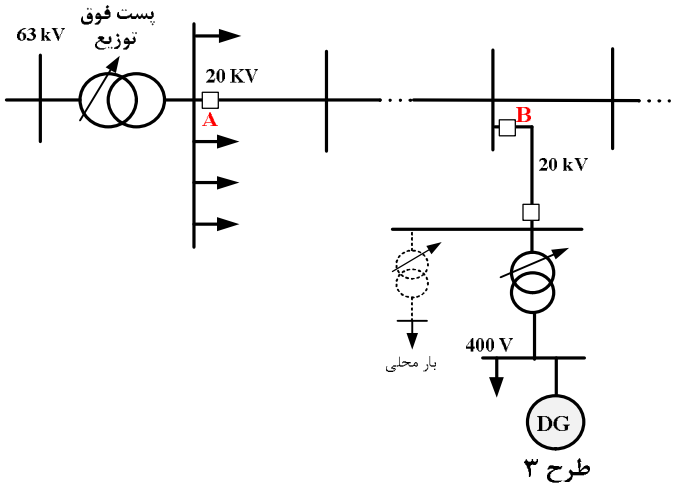
نیاز به استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور (*NGR*) و مقدار این مقاومت با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

## ۲-۷- منابع تولید پراکنده کلاس (۴) و طرح اتصال (۳)

شکل ۲-۱۹ نحوه اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه بر اساس طرح (۳) را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۳-۲، منابع تولید پراکنده کلاس‌های ۲، ۳ و ۴، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت بین ۲۰ کیلووات تا ۷ مگاوات، از طریق این طرح می‌توانند به شبکه توزیع متصل شوند.

در این قسمت ژنراتورهای کلاس ۴، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت ۱ مگاوات تا ۷ مگاوات را مورد بررسی قرار می‌دهیم، در صورتی اتصال مولدهای کلاس از طریق طرح ۳ امکان‌پذیر است، که نتایج حاصل از مطالعات اتصال‌کوتاه و پخش‌بار در فیدر مربوطه در محدوده‌های مناسب باشد و گرنه باید از یک طرح بالاتر جهت اتصال $DG$ به شبکه استفاده نمود.

با توجه به شکل ۲-۱۹، منابع تولید پراکنده در این طرح از طریق یک ترانسفورماتور اختصاصی به وسط فیدر $۲۰kV$ پست فوق توزیع متصل می‌شوند.




شکل (۲-۱۹): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۳)

هدف از بکارگیری یک ترانسفورماتور اختصاصی این است که چون جریان تزریق شده توسط ژنراتور به شبکه در سطح ۴۰۰ ولت زیاد است و هادی‌های شبکه نمی‌توانند به لحاظ حرارتی این جریان را تحمل کنند، بنابراین، سطح ولتاژ از ۴۰۰ ولت به ۲۰ کیلوولت افزایش می‌یابد، همچنین برای اینکه ژنراتور بتواند توان خود را به شبکه تزریق کند باید سطح ولتاژ افزایش یابد تا به حد سطح ولتاژ شبکه برسد. به علاوه، استفاده از ترانسفورماتور باعث کاهش سطح اتصال‌کوتاه شبکه و کاهش تأثیرگذاری $DG$ بر شبکه و برعکس خواهد شد و تا حدی از افت و خیزهای ولتاژ جلوگیری کرده و باعث می‌شود هارمونیک‌های تولیدی توسط ژنراتور به سمت شبکه انتقال پیدا نکند.

### ۲-۷-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

وجود تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده، کلیدهای قدرت و سکسیونر از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده $DG$ به شبکه بشمار می‌رود و حتماً بایستی با دقت انتخاب و در جای مناسب نصب شوند. در برخی از فیدرهای توزیع احتمال استفاده از ریکلوزر در ابتدای فیدر وجود دارد، در چنین مواردی باید هماهنگی لازم بین تجهیزات حفاظتی و قطع‌کننده $DG$ و ریکلوزر وجود داشته باشد تا در صورت ایجاد جزیرهٔ ناخواسته در شبکه از اتصال خارج از فاز $DG$ به شبکه و آسیب‌های احتمالی در اثر وصل مجدد ریکلوزر جلوگیری به عمل آید. سایر تجهیزات جانبی مورد نیاز در این طرح عبارتند از:

**الف- تجهیزات کنترلی**

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد تحریک ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار بگیرد و توان تولیدی در این ضریب توان ثابت به شبکه تزریق شود. در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است و مولد نباید به صورت فعال ولتاژ را تنظیم کند.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌گردد و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد و توانی به شبکه تزریق نمی‌کند، می‌توان $AVR$ ژنراتور را در مود $PV$ قرار داد، تا مولد ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند. چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی توسط ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور با فرکانس شبکه نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

**ب- تجهیزات حفاظتی**

در این راهنما، نکته مهمی که باید مد نظر قرار داد این است که در این راهنما، هدف بررسی حداقل تجهیزات حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال $DG$ به شبکه است، به عبارت دیگر هدف حفاظت شبکه در برابر تأثیرات ناشی از $DG$ است و طرحهای حفاظتی که در این راهنما ارائه می‌شود تضمینی برای حفاظت موتور و ژنراتور تولید پراکنده نیست. مسئولیت حفاظت از $DG$ بر عهده مالک $DG$ است و مالک $DG$ باید برای حفاظت مولدهای خود در برابر اغتشاشات مختلف حفاظت‌های لازم را پیش‌بینی نماید.

در صورتیکه مولد پراکنده دارای بار محلی باشد، به عبارت دیگر، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک $DG$ است، به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار گیرد، چنانچه در قراردادی که بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه منعقد می‌شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، باید از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی مشخص می‌شود، استفاده گردد تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود.

برخی از حداقل توابع حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال $DG$ به شبکه عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- رله توان معکوس (۳۲)
- رله اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)
- اضافه جریان آنی (۵۰)
- اضافه جریان معکوس زمانی (۵۱)
- افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)
- افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)
- رله نرخ تغییرات فرکانس $ROCOF$ (۸۱R)
- رله جابجایی زاویه فاز (۷۸)

در کنار تجهیزات مذکور، تجهیزات حفاظتی زیر نیز به عنوان حفاظت تکمیلی پیشنهاد می‌شود:

- توالی فاز ولتاژ (۴۷)
- اضافه جریان جهت‌دار (۶۷)
- خطای کلید قدرت (۵۲)

ظرفیت مولدهایی که در کلاس ۴ قرار می‌گیرند بین ۱ مگاوات و ۷ مگاوات است، در صورتی که ظرفیت مولد کمتر از یک سوم حداقل بار سالیانه فیدر باشد، هنگامی که فیدر ۲۰ کیلوولت به هر دلیلی از سر خط (نقطه $A$ در شکل ۲-۱۹) قطع می‌شود، به دلیل افت ولتاژ و فرکانسی که در نقطه اتصال ایجاد

می‌شود، رله‌های ولتاژی و فرکانسی عمل خواهند کرد و $DG$ از مدار جدا خواهد شد. اما اگر ظرفیت مولد نسبت به حداقل بار سالیانه فیدر قابل ملاحظه باشد باید هم از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ جهت جلوگیری از ایجاد جزیره ناخواسته استفاده نمود و هم از سیستم انتقال تریپ استفاده نمود. استفاده از سیستم انتقال تریپ در مقایسه با استفاده از رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز قابلیت اطمینان بالاتری دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود با توجه به ظرفیت قابل توجه مولدهای کلاس ۴ نسبت به بار فیدر و احتمال ایجاد جزیره در صورت قطع شدن کلید سر فیدر فشارضعیف، حتماً در کلاس ۴ و طرح ۳ از سیستم انتقال تریپ بین کلیدهای $A$ و کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه استفاده شود، مخصوصاً اگر در فیدر فشار متوسط مورد نظر ریکلوزر وجود داشته باشد.

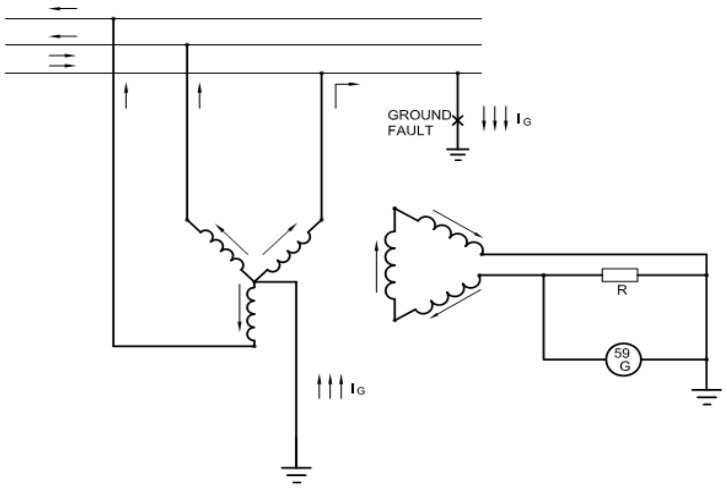
اما اگر قطعی در نقطه $B$ از شکل ۲-۱۹ رخ دهد، در صورتی که بار محلی وجود نداشته باشد، به علت نبود سایر مصرف‌کنندگان بر روی فیدر مورد نظر و اختصاصی بودن این قسمت از فیدر، به علت افزایش بیش از حد مجاز ولتاژ و فرکانس و عملکرد رله‌های ولتاژی و فرکانسی، $DG$ از شبکه جدا خواهد شد. اما اگر بار محلی وجود داشته باشد و مقدار دیماند آن یا حداکثر مصرف آن قابل توجه بوده و در حد میزان تولید $DG$ باشد، یا باید از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ جهت جداسازی $DG$ از شبکه استفاده نمود و یا از سیستم انتقال تریپ بین کلید $B$ و کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه استفاده نمود. اما، چنانچه میزان حداکثر مصرف محلی کمتر از یک سوم تولید $DG$ باشد، نیازی به استفاده از توابع حفاظتی مذکور (جابجایی فاز و $ROCOF$) و یا سیستم انتقال تریپ بین کلید $B$ و کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه نیست و رله‌های ولتاژی و فرکانسی $DG$ را از شبکه خارج می‌کنند.

نکته قابل توجه دیگری که در هنگام طراحی سیستم حفاظتی باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، نوع اتصال ترانسفورماتور متصل‌کننده $DG$ به شبکه است. برخی از توابع حفاظتی و طرح‌های حفاظتی با توجه به نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور تغییر می‌کنند.

با توجه به مزایایی که استفاده از ترانسفورماتورهای $YNd$ نسبت به ترانسفورماتورهای رایج $Dyn$ دارند، مثل تشخیص آسان‌تر وقوع خطای تکفاز به زمین در سمت شبکه و ... ، در این راهنما طرحی که برای سیستم حفاظت پیشنهاد شده است، بر اساس استفاده از ترانسفورماتور $YNd$ است، که در شکل ۲-۲۱ نیز نشان داده شده است. در صورت استفاده از ترانسفورماتور $Dyn$ برای اتصال $DG$ به شبکه، که در آن سمت فشارمتوسط ترانسفورماتور دارای اتصال مثلث است، علاوه بر حفاظت‌های نشان داده شده در شکل ۲-۲۱ یکی از روش‌های زیر نیز باید بمنظور آشکارسازی خطاهای تکفازی که در سمت شبکه رخ می‌دهند، بکار گرفته شود:

- در روش اول، حداقل بار سالیانه فیدری که $DG$ به آن متصل است، باید از سه برابر ظرفیت $DG$ بیشتر باشد، که چنانچه به هر دلیلی فیدر ۲۰ کیلوولت قطع گردید بار شبکه بیشتر از سه برابر ظرفیت نامی $DG$ باشد، که این امر منجر به افت بیش از حد مجاز ولتاژ و فرکانس در نقطه اتصال $DG$ به شبکه خواهد شد، که عملکرد سیستم حفاظتی و رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز و قطع $DG$ را در پی‌خواهد داشت و از ایجاد جزیره ناخواسته جلوگیری خواهد کرد.
- در روش دوم، در سمت فشار متوسط به منظور آشکارسازی وقوع خطای تکفاز در شبکه، یا باید از ترانسفورماتور زمین استفاده شود و یا از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز که اولیه آنها به صورت ستاره زمین‌شده و ثانویه آنها دارای اتصال مثلث باز است و توسط رله $59G$ بسته می‌شود. که این امر در شکل ۲-۲۰ نیز نشان داده شده است.

در این صورت نیز چنانچه خطای تکفاز در سمت شبکه رخ دهد به دلیل عدم تعادل ولتاژی که بین فازهای مختلف به وجود می‌آید، رله $59G$ تحریک شده و دستور قطع $DG$ را صادر می‌کند.




**شکل (۲-۲۰): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز**

- در روش سوم، از سیستم انتقال تریپ جهت آشکارسازی خطاهای تکفاز به زمین در سمت شبکه و جلوگیری از به وجود آمدن جزیره ناخواسته توسط $DG$ استفاده می‌شود. در این روش چنانچه خطای تکفازی در سمت شبکه رخ دهد، حفاظتهای موجود در شبکه وقوع خطا را تشخیص داده و کلید سر فیدر فشارمتوسط را قطع می‌کنند، به محض قطع شدن این کلید یک سیگنال توسط سیستم انتقال تریپ به کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه ارسال می‌شود و باعث جدا شدن $DG$ از شبکه و توقف تزریق انرژی توسط $DG$ به شبکه می‌شود.

بنابراین، در صورت استفاده از ترانسفورماتور *Dyn* در طرح ارائه شده در شکل ۳-۲۲، علاوه بر طرح حفاظتی ارائه شده در این شکل برای ترانسفورماتورهای *YNd*، باید یکی از تمهیدات فوق اندیشیده شود.

## ج- تجهیزات اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت مولدهای کلاس ۴ بین ۱ تا ۷ مگاوات است، بنابراین، بر طبق استاندارد *IEEE* ۱۵۴۷ *std* باید برخی از پارامترها در سیستم اتصال *DG* به شبکه مانیتور شود. بر طبق استاندارد *IEEE* ۱۵۴۷ *std* در مورد مانیتورینگ مولدهای پراکنده بالای ۲۰۰*kW* داریم:

"مولدهای مقیاس کوچک با ظرفیت (یا مجموع ظرفیت متصل به یک نقطه اتصال مشترک) ۲۰۰ کیلووات یا بیشتر یعنی کلاسهای ۳ و۴ و ۵ باید دارای تجهیزاتی برای مانیتورینگ و پایش وضعیت سیستم متصل‌کننده مولد به شبکه (وضعیت کلید *PCC*)، توان اکتیو خروجی، توان راکتیو خروجی و ولتاژ در نقطهٔ اتصال مولد به شبکه باشند. این مانیتورینگ می‌تواند به صورت محلی یا از راه دور باشد."

البته وضعیت درب پست پاساژ نیز یکی از پارامترهایی است که با توافقی که بین مالک *DG* بهره-بردار شبکه انجام می‌شود، می‌تواند مونیتور گردد.

ملزومات مورد نیاز برای مانیتورینگ شامل موارد زیر می‌باشد:

- ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان
- پورتهای نرم‌افزاری[۱] بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز
- تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری
- RTU ها
- ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ

بنابر توافقی که صورت می‌گیرد، هزینه قسمتی از تجهیزات مونیتورینگ که در سمت پست پاساژ قرار می‌گیرد، بر عهده مالک *DG* و هزینه تجهیزات مورد نیاز در سمت دیسپاچینگ توزیع، بر عهده بهره-بردار شبکه خواهد بود.

در صورتیکه، مالک *DG* طبق توافقی که با بهره‌بردار شبکه صورت می‌گیرد قصد تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و فقط بخواهد یک بار محلی را تغذیه کند، در هیچ صورتی *DG* اجازه تزریق توان به

[۱] Software ports

شبکه را ندارد و در صورت قطع بارهای متصل به $DG$، در صورتی که $DG$ بخواهد به شبکه توان تزریق کند، رله توان معکوس فرمان قطع $DG$ را صادر می‌کند.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد تولیدی توسط $DG$ وجود دارد، لازم است بهره‌بردار شبکه کنتورهایی را جهت ثبت انرژی ورودی ($kWh\ (in)$) و انرژی خروجی ($kWh\ (out)$) نصب کند. به طور کلی دو حالت زیر را برای نصب کنتور می‌توان مورد بررسی قرار داد:

الف- مولدهای خود تأمین و دارای بار محلی

- در صورتی که بار محلی از طریق همان ترانسفورماتوری که $DG$ را به شبکه متصل کرده تغذیه شود، در این حالت به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_1$) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_2$) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_3$) استفاده نماید که قابلیت اندازه‌گیری انرژی در هر دو جهت را داشته باشد، هم انرژی که $DG$ به شبکه تزریق می‌کند و هم انرژی که از شبکه دریافت می‌کند. که این امر در دیاگرام شکل ۲-۲۱ نیز نشان داده شده است.
- در صورتی که بار محلی از طریق یک ترنسفورماتور مجزا تغذیه شود، در اینصورت، باید از دو کنتور یک طرفه مجزا، به ترتیب یکی برای اندازه‌گیری میزان مصرف (در نقطه $m_4$) و دیگری برای اندازه‌گیری میزان توان تزریقی توسط $DG$ به شبکه (در نقطه $m_3$) استفاده شود.

ب- مولدهای بدون بار محلی

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام توان تولیدی توسط $DG$ به شبکه تزریق می‌شود، تنها استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه کفایت می‌کند.

نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در این حالت همانند مولدهای کلاس ۳ که از طریق طرح ۳ به شبکه متصل می‌شوند، می‌باشد.

جدول ۲-۹ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای مولدهای کلاس ۴ که از طریق طرح ۳ به شبکه متصل می‌شوند را نشان می‌دهد. دیاگرام تک‌خطی اتصال $DG$های کلاس (۴)/ طرح (۳) در شکل ۲-۲۱ ارائه شده است.

**جدول (۲-۹): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال *DG* کلاس (۴) براساس طرح (۳)**

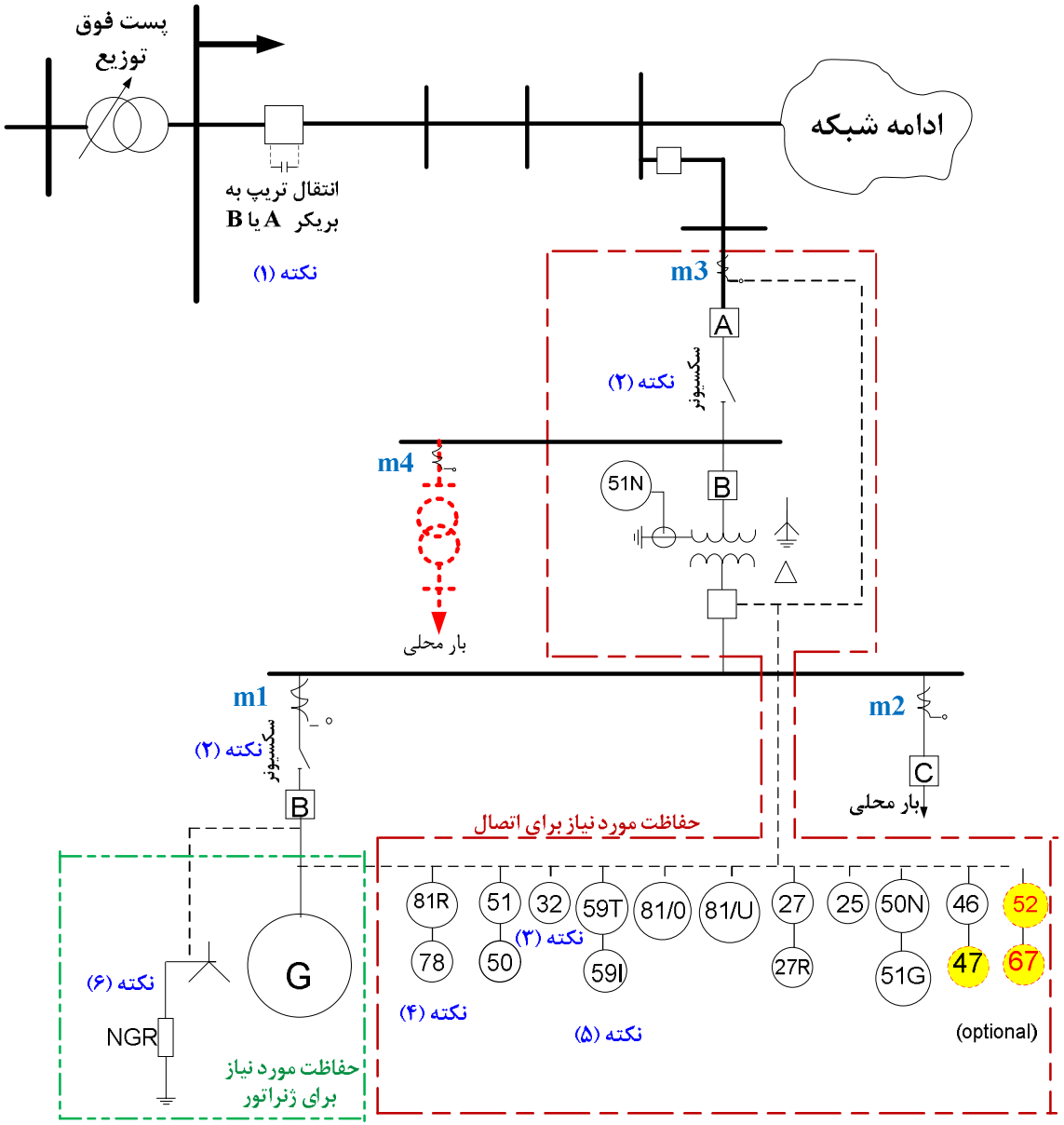
| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | تجهیزات اتوماسیون و مانیتورینگ | تجهیزات اندازه-گیری |
|---|---|---|---|
| • کلید سنکرون<br>• کلیدهای قدرت<br>• سکسیونر<br>• AVR<br>• گاورنر | **الزامی:**<br>• سنکرون‌چک (۲۵)<br>• افت ولتاژ (۲۷)<br>• توان معکوس (۳۲)*<br>• توالی فاز منفی (۴۶)<br>• اضافه‌جریان (۵۰)<br>• اضافه جریان معکوس زمانی (۵۱)<br>• اضافه جریان نول (۵۰N)<br>• اضافه جریان زمین معکوس زمانی (۵۱G)<br>• افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)**<br>• افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>• رله ROCOF (۸۱R)***<br>• رله جابجایی زاویه فاز (۷۸)***<br>**پیشنهادی:**<br>• توالی فاز ولتاژ (۴۷)<br>• اضافه جریان جهت‌دار (۶۷)<br>• خطای کلید قدرت (۵۲) | • ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان<br>• پورتهای نرم‌افزاری بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز<br>• تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری<br>• RTUها<br>• ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ<br>• انتقال تریپ | • کنتورها<br>• ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ (CT، VT) |

* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط *DG* به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

** استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد و یا هنگامی که از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز با اولیه ستاره زمین شده و ثانویه مثلث باز که با رله ۵۹$G$ بسته می‌شود، جهت آشکارسازی وقوع خطای تکفاز به زمین استفاده می‌شود. رله اضافه ولتاژ سریع ۵۹$I$ برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در *PCC*)

*** در این طرح از این دو تابع حفاظتی تنها زمانی جهت آشکارسازی جزیره استفاده می‌شود که حداکثر بار محلی و یا دیماند بار محلی نزدیک به میزان ظرفیت تولید $DG$ باشد و یا حداقل بار سالیانه فیدر ۲۰ کیلوولت پست فوق توزیع که $DG$ به آن متصل می‌شود در مقایسه با ظرفیت عملی $DG$ قابل مقایسه باشد.




شکل (۲-۲۱): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۴ از طریق طرح ۳ به شبکه توزیع

**راهنمای حفاظت**

۲۵- سنکرون چک
۲۷- رله افت ولتاژ
۲۷R- افت ولتاژ لحظه‌ای
۳۲- توان معکوس
۴۶- اضافه جریان توالی فاز منفی
۴۷- توالی فاز ولتاژ
۵۰/۵۱- اضافه جریان لحظه‌ای/ تأخیری
۵۰N- اضافه جریان نول آنی
۵۱G- اضافه جریان زمین معکوس زمانی
۵۹I- اضافه ولتاژ آنی
۵۹T- اضافه ولتاژ تاخیری
۶۷- اضافه جریان جهت‌دار
۵۲- خطای کلید قدرت
۸۱/O- اضافه فرکانس
۸۱/U- افت فرکانس

**راهنـــمای نقشـه**

تعداد مورد نیاز (x)
اندازه گیری
فیوز
مقاومت زمین کننده نول
بریکر
سکسیونر
ترانسفورماتور

➢ **برخی از نکات شکل ۲-۲۱:**

**نکته ۱:**

در این کلاس چون ظرفیت مولدها نسبت به بار فیدر قابل ملاحظه است، جهت جلوگیری از ایجاد شرایط جزیره‌ای باید از یک سیستم با قابلیت اطمینان بالا جهت آشکارسازی جزیره استفاده شود. در طرح ۳ و کلاس ۴ حتماً باید از سیستم انتقال تریپ استفاده شود در کنار این سیستم برای ایجاد یک سیستم ایمن‌تر باید از رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز نیز استفاده شود.

**نکته ۲:**

باید توجه داشته باشیم در صورت استفاده از سکسیونر باید تیغه زمین آن در سمت شبکه نباشد تا امکان زمین شدن شبکه وجود نداشته باشد.

**نکته ۳:**

رله توان معکوس (۳۲)، برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

**نکته ۴:**

از رله‌های $ROCOF$ و جابجایی فاز زمانی استفاده می‌شود که ظرفیت $DG$ از یک سوم حداقل بار سالیانه فیدر بیشتر باشد و یا حداکثر میزان مصرف بار محلی، کمتر از سه برابر ظرفیت $DG$ باشد.

**نکته ۵:**

استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد و یا هنگامی که از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز با اولیه ستاره زمین شده و ثانویه مثلث باز که با رله ۵۹$G$ بسته می‌شود، جهت آشکارسازی وقوع خطای تکفاز به زمین استفاده می‌شود. رله اضافه ولتاژ سریع ۵۹$I$ برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در $PCC$)

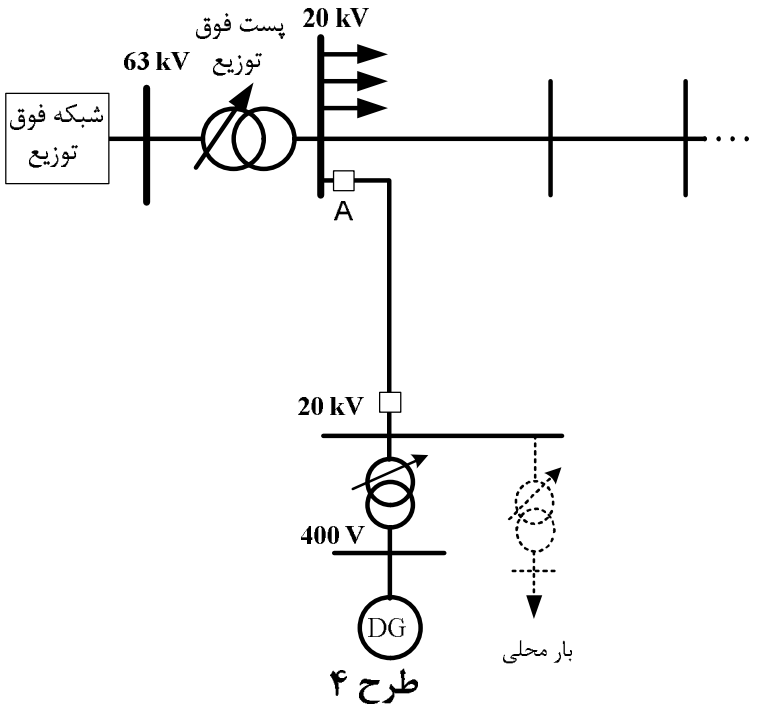
**نکته ۶:**

نیاز به استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور ($NGR$) و مقدار این مقاومت با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

## ۲-۸- منابع تولید پراکنده کلاس (۴) و طرح اتصال (۴)

شکل ۲-۲۲ اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه از طریق طرح ۴ را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۱-۲، منابع تولید پراکنده کلاس ۴ و ۵، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت بین ۱ مگاوات تا ۲۵ مگاوات، در صورتی که محدودیت‌های شبکه اجازه دهد، می‌توانند از طریق این طرح به شبکه متصل شوند. در این بخش، اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۴ یعنی مولدهایی با ظرفیت ۱ تا ۷ مگاوات مد نظر می‌باشد.

در این طرح، منابع تولید پراکنده از طریق یک خط و یک ترانسفورماتور اختصاصی مستقیماً به باسبار ۲۰$kV$ پست فوق توزیع متصل می‌شوند.




شکل (۲-۲۲): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۴)

هدف از بکارگیری ترانسفورماتور اختصاصی این است که چون جریان تزریق شده توسط ژنراتور به شبکه در سطح ولتاژ ژنراتور زیاد است و هادی‌های شبکه نمی‌توانند به لحاظ حرارتی این جریان را تحمل کنند، بنابراین سطح ولتاژ از سطح ولتاژ ژنراتور به ۲۰ کیلوولت افزایش می‌یابد، همچنین برای اینکه ژنراتور بتواند توان خود را به شبکه تزریق کند باید سطح ولتاژ افزایش یابد تا به حد سطح ولتاژ شبکه برسد. به علاوه، استفاده از ترانسفورماتور باعث کاهش سطح اتصال‌کوتاه شبکه و کاهش تأثیرگذاری $DG$

بر شبکه و بر عکس خواهد شد و تا حدی از افت و خیزهای ولتاژ جلوگیری کرده و باعث می‌شود هارمونیک‌های تولیدی توسط ژنراتور به سمت شبکه انتقال پیدا نکند.

### ۲-۸-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

وجود تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده، کلیدهای قدرت و سکسیونر از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده $DG$ به شبکه بشمار می‌رود و حتماً بایستی با دقت انتخاب و در جای مناسب نصب شوند. در برخی از فیدرهای توزیع احتمال استفاده از ریکلوزر در ابتدای فیدر وجود دارد، در چنین مواردی باید هماهنگی لازم بین تجهیزات حفاظتی و قطع‌کننده $DG$ و ریکلوزر وجود داشته باشد تا در صورت ایجاد جزیرهٔ ناخواسته در شبکه از اتصال خارج از فاز $DG$ به شبکه و آسیب‌های احتمالی در اثر وصل مجدد ریکلوزر جلوگیری به عمل آید. برخی از این نیروگاههای تولید پراکنده در محوطه پستهای فوق توزیع نصب و راه‌اندازی می‌شوند که معمولاً دارای بار محلی نیستند و تمام توان تولیدی توسط این نیروگاهها به شبکه تزریق می‌شود. سایر تجهیزات جانبی مورد نیاز در این طرح عبارتند از:

#### الف- تجهیزات کنترلی

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد تحریک ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار بگیرد و توان تولیدی در این ضریب توان ثابت به شبکه تزریق شود. در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است و مولد نباید به صورت فعال ولتاژ را تنظیم کند.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌گردد و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد و توانی به شبکه تزریق نمی‌کند، می‌توان $AVR$ ژنراتور را در مود $PV$ قرار داد، تا مولد ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند. چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی توسط ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور با فرکانس شبکه نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

## ب- تجهیزات حفاظتی

در این راهنما، نکته مهمی که باید مد نظر قرار داد این است که هدف، بررسی حداقل تجهیزات حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال *DG* به شبکه است، به عبارت دیگر هدف حفاظت شبکه در برابر تأثیرات ناشی از *DG* است و طرحهای حفاظتی که در این راهنما ارائه می‌شود تضمینی برای حفاظت موتور و ژنراتور تولید پراکنده نیست. مسئولیت حفاظت از *DG* بر عهده مالک *DG* است و مالک *DG* باید برای حفاظت مولدهای خود در برابر اغتشاشات مختلف حفاظت‌های لازم را پیش‌بینی نماید.

به طور کلی، برخی از حداقل توابع حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال *DG* به شبکه عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- رله توان معکوس (۳۲)
- رله اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)
- رله اضافه جریان آنی (۵۰/۵۰N)
- رله اضافه جریان معکوس زمانی(۵۱/۵۱G)
- رله اضافه ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)
- رله افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)
- رله نرخ تغییرات فرکانس *ROCOF* (۸۱R)
- رله جابجایی زاویه فاز (۷۸)

در کنار تجهیزات مذکور، استفاده از توابع حفاظتی زیر نیز به عنوان حفاظت تکمیلی پیشنهاد می‌شود، که قابلیت اطمینان طرح حفاظتی را افزایش می‌دهد:

- رله توالی فاز ولتاژ (۴۷)
- بالانس ولتاژ (۶۰)
- رله اضافه جریان جهت‌دار (۶۷)
- اضافه جریان جهتدار نول (۶۷N)
- خطای کلید قدرت (۵۲)

در صورتیکه مولد پراکنده دارای بار محلی باشد، به عبارت دیگر، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک *DG* است، به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار گیرد، چنانچه در قراردادی که بین مالک *DG* و بهره‌بردار شبکه منعقد می-

شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، باید از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی مشخص می‌شود، استفاده گردد تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود. در صورتی که بار محلی وجود نداشته باشد و تمام توان تولیدی توسط مولد به شبکه تزریق شود نیازی به استفاده از رله توان معکوس جهت حفاظت سیستم اتصال نیست. (البته مالک $DG$ ممکن است بمنظور حفاظت مولدهای خود در برابر موتوری شدن از رله توان معکوس استفاده کند تا در صورتی که توان تزریقی از سمت شبکه به سمت مولدها از یک مقدار مشخص بیشتر شد دستور قطع $DG$ از شبکه را صادر نماید که در این راهنما مد نظر نیست و حفاظت ژنراتورها بر عهده مالک $DG$ است.)

ظرفیت مولدهایی که در کلاس ۴ قرار می‌گیرند بین ۱ مگاوات و ۷ مگاوات است و مولدها از طریق یک خط اختصاصی مستقیماً به سمت ثانویه پست فوق توزیع متصل می‌شوند، در صورتیکه به هر دلیلی پست فوق توزیع بی‌برق شود، چنانچه حداقل بار سالیانه فیدرهای متصل به ثانویه پست فوق توزیع نسبت به ظرفیت مولدهای پراکنده متصل به پست فوق توزیع، قابل ملاحظه باشد (یعنی حداقل بیش از سه برابر ظرفیت مولدهای پراکنده باشد) در این صورت به دلیل افت ولتاژ و فرکانسی که به دلیل بی‌برق شدن پست فوق توزیع در محل اتصال مولدهای پراکنده به شبکه ایجاد می‌شود، رله‌های ولتاژی و فرکانسی عمل کرده و باعث جدا شدن مولدها از شبکه خواهند شد. اما چنانچه ظرفیت مولدهای پراکنده نسبت به حداقل بار سالیانه فیدرهای متصل به ثانویه پست فوق توزیع قابل ملاحظه باشد، امکان ایجاد جزیره ناخواسته پس از بی‌برق شدن پست فوق توزیع وجود دارد، بنابراین باید از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ جهت جلوگیری از ایجاد جزیره ناخواسته استفاده نمود. به همین منظور، برای بدست آوردن تنظیمات صحیح برای این رله‌ها، باید مطالعات لازم با در نظر گرفتن بی‌برق شدن پست فوق توزیع و حداقل بار سالیانه فیدرهای متصل به پست فوق توزیع انجام گیرد و میزان تغییرات فرکانس در واحد زمان و تغییرات زاویه فاز روتور بررسی گردد.

اما اگر قطعی در نقطه $A$ از شکل ۲-۲۲ (یعنی محل اتصال فیدر خصوصی به ثانویه پست توزیع) رخ دهد، در صورتی که بار محلی وجود نداشته باشد، به علت نبود سایر مصرف‌کنندگان بر روی فیدر مورد نظر و اختصاصی بودن این قسمت از فیدر، به علت افزایش بیش از حد مجاز ولتاژ و فرکانس و عملکرد

رله‌های ولتاژی و فرکانسی، $DG$ از شبکه جدا خواهد شد. اما اگر بار محلی وجود داشته باشد و مقدار دیماند آن یا حداکثر مصرف آن قابل توجه بوده و در حد میزان تولید $DG$ باشد، باید از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ و سیستم انتقال تریپ بین کلید $A$ و کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه جهت جداسازی $DG$ از شبکه استفاده نمود. همچنین، در صورتی که در این فیدر از ریکلوزر استفاده شده باشد، حتماً باید از سیستم انتقال تریپ استفاده شود، چون اگر به هر دلیلی کلید $A$ قطع شود و $DG$ از مدار خارج نشود امکان اتصال غیرسنکرون مولدهای پراکنده به شبکه وجود دارد که این امر خسارات بسیار زیادی را به همراه خواهد داشت. اما، چنانچه میزان حداکثر مصرف محلی کمتر از یک سوم تولید $DG$ باشد، نیازی به استفاده از سیستم انتقال تریپ نیست و رله‌های ولتاژی و فرکانسی $DG$ را از مدار خارج می‌کنند. البته پیشنهاد می‌شود به دلیل ظرفیت قابل ملاحظه مولدهای پراکنده کلاس ۴ و هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه‌ای که برای خرید این مولدها توسط مالک انجام می‌شود، به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش آسیب‌های وارده به مولدهای پراکنده از سیستم انتقال تریپ استفاده شود.

نکته قابل توجه دیگری که در هنگام طراحی سیستم حفاظتی باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، نوع اتصال ترانسفورماتور متصل‌کننده $DG$ به شبکه است. برخی از توابع حفاظتی و طرح‌های حفاظتی بکار رفته در سیستم اتصال با توجه به نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور تغییر می‌کنند.

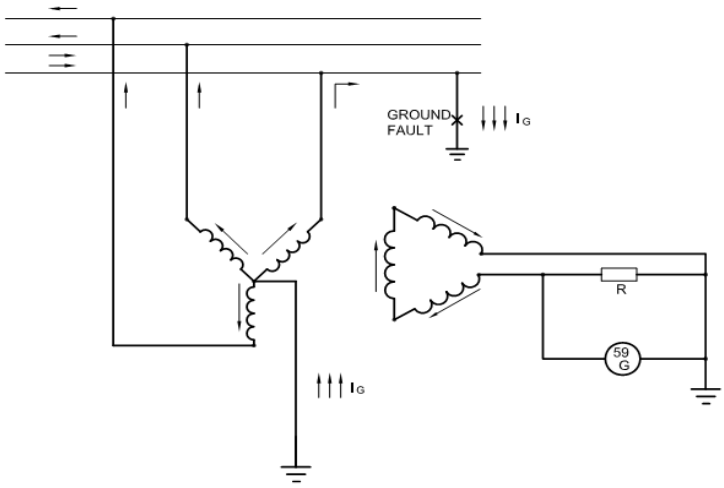
با توجه به مزایایی که استفاده از ترانسفورماتورهای $YNd$ نسبت به ترانسفورماتورهای رایج $Dyn$ دارند، مثل تشخیص آسان‌تر وقوع خطای تکفاز به زمین در سمت شبکه و ... ، در این راهنما طرحی که برای سیستم حفاظت پیشنهاد شده است، بر اساس استفاده از ترانسفورماتور $YNd$ است، که در شکل ۲-۲۵ نیز نشان داده شده است.

در صورت استفاده از ترانسفورماتور $Dyn$ برای اتصال $DG$ به شبکه، که در آن سمت فشارمتوسط ترانسفورماتور دارای اتصال مثلث است، علاوه بر حفاظت‌های نشان داده شده در شکل ۲-۲۵ یکی از روش‌های زیر نیز باید بمنظور آشکارسازی خطاهای تکفازی که در سمت شبکه رخ می‌دهند، بکار گرفته شود:

- در روش اول، در سمت فشار متوسط به منظور آشکارسازی وقوع خطای تکفاز در شبکه، یا باید از ترانسفورماتور زمین استفاده شود و یا از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز که اولیه آنها به صورت ستاره زمین‌شده و ثانویه آنها دارای اتصال مثلث باز است و توسط رله $59G$ بسته می‌شود. که این امر در شکل ۲-۲۳ نیز نشان داده شده است.

در این صورت نیز چنانچه خطای تکفاز در سمت شبکه رخ دهد به دلیل عدم تعادل ولتاژی که بین فازهای مختلف به وجود می‌آید، رله $59G$ تحریک شده و دستور قطع $DG$ را صادر می‌کند.

- در روش دوم، از سیستم انتقال تریپ جهت آشکارسازی خطاهای تکفاز به زمین در سمت شبکه و جلوگیری از به وجود آمدن جزیره ناخواسته توسط $DG$ استفاده می‌شود. در این روش چنانچه خطای تکفازی در سمت شبکه رخ دهد، حفاظتهای موجود در شبکه وقوع خطا را تشخیص داده و کلید سر فیدر فشارمتوسط را قطع می‌کنند، به محض قطع شدن این کلید یک سیگنال توسط سیستم انتقال تریپ به کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه ارسال می‌شود و باعث جدا شدن $DG$ از شبکه و توقف تزریق انرژی توسط $DG$ به شبکه می‌شود.




**شکل (۲-۲۳): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز**

بنابراین، در صورت استفاده از ترانسفورماتور $Dyn$ در طرح ارائه شده در شکل ۲-۲۵، علاوه بر طرح حفاظتی ارائه شده در این شکل برای ترانسفورماتورهای $YNd$، باید یکی از تمهیدات فوق اندیشیده شود.

### ج- تجهیزات اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت مولدهای کلاس ۴ بین ۱ تا ۷ مگاوات است، بنابراین، بر طبق استاندارد $IEEE$ $std$ ۱۵۴۷ باید برخی از پارامترها در سیستم اتصال $DG$ به شبکه مانیتور شود. بر طبق استاندارد $IEEE$ $std$ ۱۵۴۷ در مورد مانیتورینگ مولدهای پراکنده بالای $kW$ ۲۰۰ داریم:

"مولدهای مقیاس کوچک با ظرفیت (یا مجموع ظرفیت متصل به یک نقطه اتصال مشترک) ۲۰۰ کیلووات یا بیشتر یعنی کلاسهای ۳ و۴ و ۵ باید دارای تجهیزاتی برای مانیتورینگ و پایش وضعیت سیستم متصل‌کننده مولد به شبکه (وضعیت کلید $PCC$)، توان اکتیو خروجی، توان راکتیو خروجی و ولتاژ در نقطهٔ اتصال مولد به شبکه باشند. این مانیتورینگ می‌تواند به صورت محلی یا از راه دور باشد."

البته وضعیت درب پست پاساژ نیز یکی از پارامترهایی است که با توافقی که بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه انجام می‌شود، می‌تواند مانیتور گردد.

ملزومات مورد نیاز برای مانیتورینگ شامل موارد زیر می‌باشد:

- ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان
- پورتهای نرم‌افزاری[1] بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز
- تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری
- RTUها
- ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ

بنابر توافقی که صورت می‌گیرد، هزینه قسمتی از تجهیزات مانیتورینگ که در سمت پست پاساژ قرار می‌گیرد، بر عهده مالک $DG$ و هزینه تجهیزات مورد نیاز در سمت دیسپاچینگ توزیع، بر عهده بهره‌بردار شبکه خواهد بود.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد تولیدی توسط $DG$ وجود دارد، لازم است بهره‌بردار شبکه کنتورهایی را جهت ثبت انرژی ورودی ($kWh\ (in)$) و انرژی خروجی ($kWh\ (out)$) نصب کند. به طور کلی دو حالت زیر را برای نصب کنتور می‌توان مورد بررسی قرار داد:

الف- مولدهای خود تأمین و دارای بار محلی

در این حالت به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_1$) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_2$) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_3$) استفاده نماید که قابلیت اندازه‌گیری انرژی در هر دو جهت را داشته باشد، هم انرژی که $DG$ به شبکه تزریق می‌کند و هم انرژی که از شبکه دریافت می‌کند. که این امر در دیاگرام شکل ۲-۲۵ نیز نشان داده شده است.

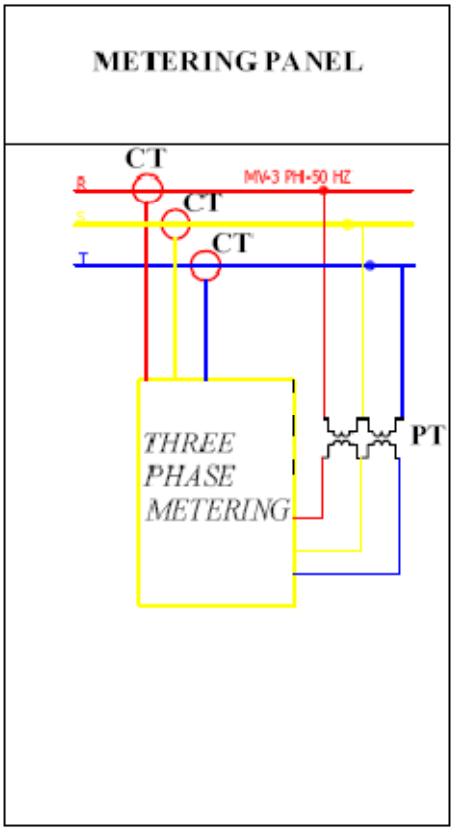
ب- مولدهای بدون بار محلی

[1] Software ports

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام توان تولیدی توسط $DG$ به شبکه تزریق می‌شود، تنها استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه کفایت می‌کند.

از آنجایی که در طرح ۴ از یک ترانسفورماتور اختصاصی جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه استفاده می‌شود و نقطه اندازه‌گیری در قسمت بالادست ترانسفورماتور می‌باشد، بنابراین، ولتاژ در نقطه اندازه‌گیری در این حالت $kV$ ۲۰ می‌باشد. در نتیجه، کنتور به طور مستقیم نمی‌تواند ولتاژ سه‌فاز را اندازه‌گیری نماید.

در این طرح، ولتاژ عمدتاً توسط دو دستگاه ترانسفورماتور ولتاژ با مشخصات مندرج در جدول ۲-۱۰ و جریان سه‌فاز با استفاده از سه دستگاه ترانسفورماتور جریان با مشخصات مندرج در جدول ۲-۱۱ برای اندازه‌گیری توسط کنتور مهیا می‌شوند. طرح اتصال لوازم اندازه‌گیری در شکل ۲-۲۴ نشان داده شده است.




شکل (۲-۲۴): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۴

جدول (۲-۱۰): مشخصات ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط

| TYPE | INDOOR |
|---|---|
| LINE TO LINE VOLTAGE | ۲۰ KV |
| MAXIMUM SERVICE VOLTAGE | ۲۴ KV |
| ONE MINUTE POWER – FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGE | |
| BETWEEN PRIMARY AND SECONDARY WINDING | ۵۰ KV |
| BETWEEN SECONDARY WINDING AND EARTH | ۲ KV |
| IMPULSE WITHSTAMD VOLTAGE | ۱۲۵ KV |
| RATED PRIMARY VOLTAGE | ۲۰۰۰۰ V |
| RATED SECONDARY VOLTAGE | ۱۰۰ V |
| ACCURACY CLASS | ۰.۵ |
| RATED BURDEN | ۳۰ VA |
| AMBIENT TEMPERATURE | -۲۵ C TO ۴۵ C |
| ALTITUDE ABOVE SEE LEVEL | ۱۰۰۰ M |
| APPLICAION | METERING |
| ENCLOSURE | CAST-RESIN INSULATED CASTING |

جدول (۲-۱۱): مشخصات ترانسفورماتور جریان فشار متوسط

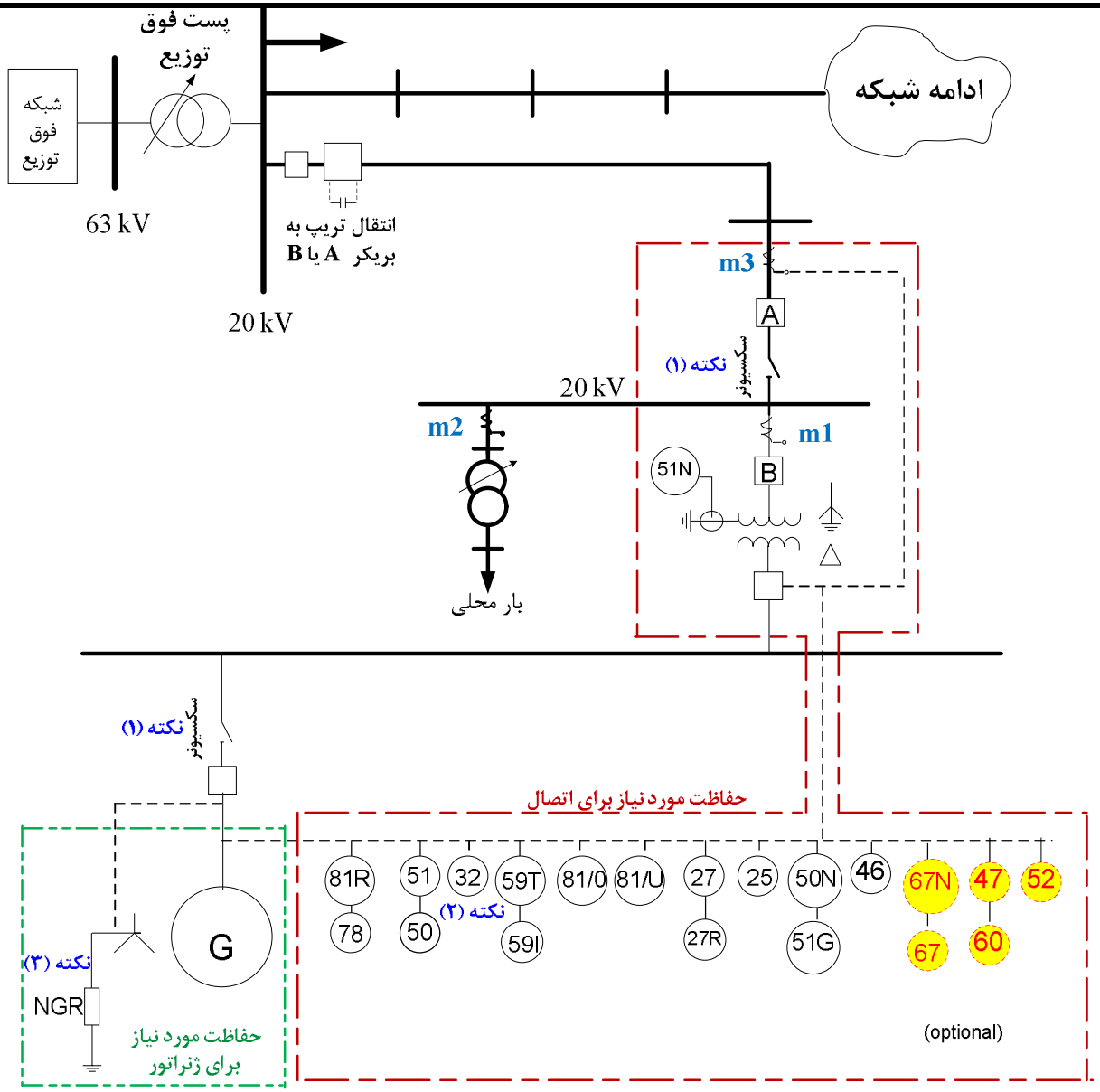
| SPEFICATIONS | ۲۰ KV INDOOR CURRENT TRANSFORMERS |
|---|---|
| system to line voltage | ۲۰ kv |
| max service voltage | ۲۴ kv |
| rated primary current | * amps |
| rated secondary current | ۵ amps |
| test voltage insulation | ۵۵/۱۴۲ kv |
| nominal frequency | ۵۰ HZ |
| no of cores | SINGLE |
| Application | Metering |
| class of accuracy | ۰.۵ |
| rated burden | ۱۵VA |
| thermal-one second current | ۲۰ kA |
| max dynamic current | ۵۰ kA |

جدول ۲-۱۲ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی در این طرح را نشان می‌دهد. دیاگرام تک‌خطی اتصال DG کلاس (۴)/ طرح (۴) در شکل ۲-۲۵ ارائه شده است.

جدول (۲-۱۲): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال *DG* کلاس (۴) براساس طرح (۴)

| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | تجهیزات اتوماسیون و مانیتورینگ | تجهیزات اندازه‌گیری |
| --- | --- | --- | --- |
| • کلید سنکرون<br>• کلیدهای قدرت<br>• سکسیونر<br>• AVR<br>• گاورنر | **الزامی:**<br>• رله سنکرون‌چک (۲۵)<br>• رله افت ولتاژ (۲۷)<br>• رله توان معکوس (۳۲)*<br>• اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)<br>• اضافه جریان آنی (۵۰/۵۰N)<br>• اضافه جریان معکوس زمانی (۵۱/۵۱G)<br>• افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)<br>• افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>• رله نرخ تغییرات فرکانس (۸۱R)<br>• رله جابجایی فاز ولتاژ (۷۸)<br>**پیشنهادی:**<br>• توالی فاز ولتاژ (۴۷)<br>• رله تعادل ولتاژ (۶۰)<br>• اضافه جریان جهت‌دار (۶۷)<br>• اضافه جریان جهتدار نول (۶۷N)<br>• خطای کلید قدرت (۵۲) | • ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان<br>• پورتهای نرم‌افزاری بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز<br>• تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری RTUها<br>• ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ<br>• انتقال تریپ | • کنتورها<br>• ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان (CT، VT) |

* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط *DG* به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.




شکل (۲-۲۵): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۴ از طریق طرح ۴ به شبکه توزیع

## راهنمای حفاظت

۲۵- رله سنکرون چک
۲۷- افت ولتاژ
۲۷R- افت ولتاژ لحظه‌ای
۳۲- توان معکوس
۴۶- اضافه جریان توالی فاز منفی
۴۷- توالی فاز ولتاژ
۵۰/۵۱- اضافه جریان لحظه‌ای/ تاخیری
۵۰N- اضافه جریان نول
۵۱G- اضافه جریان زمین
۵۹I- اضافه ولتاژ آنی
۵۹T- اضافه ولتاژ تاخیری
۶۰- بالانس ولتاژ
۵۲- خطای کلید قدرت (BF)
۶۷- اضافه جریان جهت‌دار
۶۷N- اضافه جریان جهت‌دار نول
۸۱/O- اضافه فرکانس
۸۱/U- زیر فرکانس

## راهنـــمای نقشـه

تعداد مورد نیاز (x)
اندازه گیری
فیوز
مقاومت زمین کننده نول
بریکر
سکسیونر
ترانسفورماتور

## ➢ برخی از نکات شکل ۲-۲۵:

**نکته ۱:**

باید توجه داشته باشیم در صورت استفاده از سکسیونر باید تیغه زمین آن در سمت شبکه نباشد تا امکان زمین شدن شبکه وجود نداشته باشد.

**نکته ۲:**

رله توان معکوس (۳۲)، برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

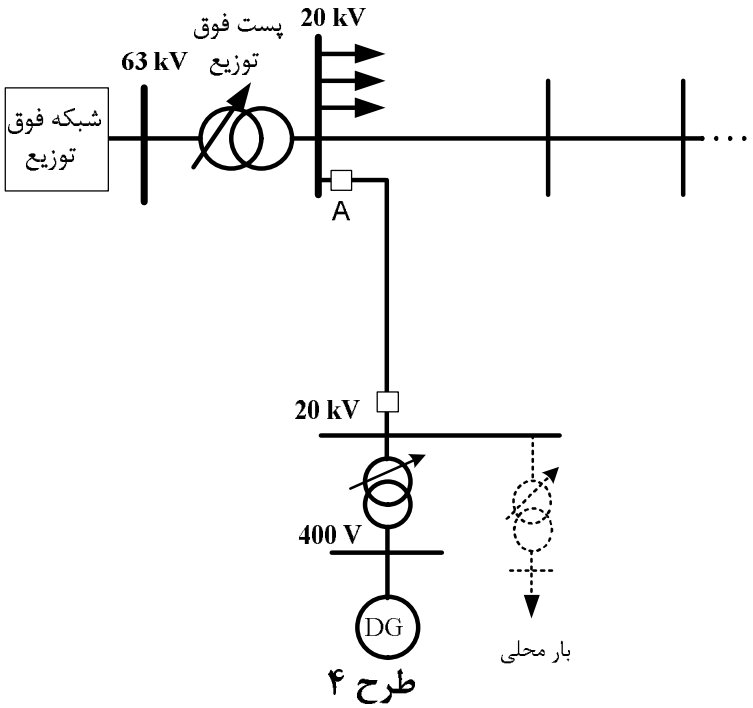
**نکته ۳:**

نیاز به استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور ($NGR$) و مقدار این مقاومت با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

## ۲-۹- منابع تولید پراکنده کلاس (۵) و طرح اتصال (۴)

شکل ۲-۲۶ اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه از طریق طرح ۴ را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۱-۲، منابع تولید پراکنده کلاس ۴ و ۵، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت بین ۱ مگاوات تا ۲۵ مگاوات، می‌توانند از طریق این طرح به شبکه متصل شوند. در این بخش، اتصال منابع تولید پراکنده کلاس ۵ یعنی مولدهایی با ظرفیت ۷ تا ۲۵ مگاوات از طریق طرح ۴ مد نظر می‌باشد.

در این طرح، منابع تولید پراکنده از طریق دو یا چند خط موازی و ترانسفورماتور اختصاصی مستقیماً به باسبار $۲۰kV$ پست فوق توزیع متصل می‌شوند.




**شکل (۲-۲۶): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۴)**

هدف از بکارگیری یک ترانسفورماتور اختصاصی این است که چون جریان تزریق شده توسط ژنراتور به شبکه در سطح ولتاژ ژنراتور زیاد است و هادی‌های شبکه نمی‌توانند به لحاظ حرارتی این جریان را تحمل کنند، بنابراین سطح ولتاژ از سطح ولتاژ ژنراتور به ۲۰ کیلوولت افزایش می‌یابد، همچنین برای اینکه ژنراتور بتواند توان خود را به شبکه تزریق کند باید سطح ولتاژ افزایش یابد تا به حد سطح ولتاژ شبکه برسد. به علاوه، استفاده از ترانسفورماتور باعث کاهش سطح اتصال‌کوتاه شبکه و کاهش تأثیرگذاری

$DG$ بر شبکه و برعکس خواهد شد و تا حدی از افت و خیزهای ولتاژ جلوگیری کرده و باعث می‌شود هارمونیک‌های تولیدی توسط ژنراتور به سمت شبکه انتقال پیدا نکند.

### ۲-۹-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

وجود تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده، کلیدهای قدرت و سکسیونر از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده $DG$ به شبکه بشمار می‌رود و حتماً بایستی با دقت انتخاب و در جای مناسب نصب شوند. در برخی از فیدرهای توزیع احتمال استفاده از ریکلوزر در ابتدای فیدر وجود دارد، در چنین مواردی باید هماهنگی لازم بین تجهیزات حفاظتی و قطع‌کننده $DG$ و ریکلوزر وجود داشته باشد تا در صورت ایجاد جزیرهٔ ناخواسته در شبکه از اتصال خارج از فاز $DG$ به شبکه و آسیب‌های احتمالی در اثر وصل مجدد ریکلوزر جلوگیری به عمل آید. سایر تجهیزات جانبی مورد نیاز در این طرح عبارتند از:

**الف- تجهیزات کنترلی**

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد تحریک ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار بگیرد و توان تولیدی در این ضریب توان ثابت به شبکه تزریق شود. در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است و مولد نباید به صورت فعال ولتاژ را تنظیم کند.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌گردد و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد و توانی به شبکه تزریق نمی‌کند، می‌توان $AVR$ ژنراتور را در مود $PV$ قرار داد، تا مولد ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند. چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی توسط ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور با فرکانس شبکه نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

**ب- تجهیزات حفاظتی**

نکته مهمی که در این راهنما باید مد نظر قرار داد این است که هدف بررسی حداقل تجهیزات حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال $DG$ به شبکه است، به عبارت دیگر هدف حفاظت شبکه در برابر تأثیرات ناشی از $DG$ است و طرحهای حفاظتی که در این راهنما ارائه می‌شود تضمینی برای حفاظت

موتور و ژنراتور تولید پراکنده نیست. مسئولیت حفاظت از $DG$ بر عهده مالک $DG$ است و مالک $DG$ باید برای حفاظت مولدهای خود در برابر اغتشاشات مختلف حفاظت‌های لازم را پیش‌بینی نماید.

در صورتیکه مولد پراکنده دارای بار محلی باشد، به عبارت دیگر، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک $DG$ است، به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار گیرد، چنانچه در قراردادی که بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه منعقد می‌شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، باید از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی مشخص می‌شود، استفاده گردد تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود. در صورتی که بار محلی وجود نداشته باشد و تمام توان تولیدی توسط مولد به شبکه تزریق شود نیازی به استفاده از رله توان معکوس جهت حفاظت سیستم اتصال نیست. (البته مالک $DG$ ممکن است بمنظور حفاظت مولدهای خود در برابر موتوری شدن از رله توان معکوس استفاده کند تا در صورتی که توان تزریقی از سمت شبکه به سمت مولدها از یک مقدار مشخص بیشتر شد دستور قطع $DG$ از شبکه را صادر نماید که در این راهنما مد نظر نیست و حفاظت ژنراتورها بر عهده مالک $DG$ است.)

برخی از حداقل توابع حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال $DG$ به شبکه عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- رله توان معکوس (۳۲)
- رله اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)
- رله اضافه جریان آنی (۵۰/۵۰N)
- رله اضافه جریان معکوس زمانی (۵۱/۵۱G)
- رله افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)
- رله افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)
- رله اندازه‌گیری نرخ تغییرات فرکانس $ROCOF$ (۸۱R)
- رله جابجایی زاویه فاز (۷۸)

- رله توالی فاز ولتاژ (۴۷)
- خطای کلید قدرت (۵۲)

در کنار تجهیزات مذکور، تجهیزات و توابع حفاظتی زیر نیز به عنوان حفاظت تکمیلی پیشنهاد می‌شود:

- رله اضافه جریان جهت‌دار (۶۷)
- رله اضافه جریان جهتدار نول (۶۷N)
- رله بالانس ولتاژ (۶۰)

ظرفیت مولدهایی که در کلاس ۵ قرار می‌گیرند بین ۷ مگاوات تا ۲۵ مگاوات است و مولدها از طریق دو یا چند فیدر اختصاصی مستقیماً به سمت ثانویه پست فوق توزیع متصل می‌شوند. در صورتیکه به هر دلیلی پست فوق توزیع بی‌برق شود، چنانچه حداقل بار سالیانه فیدرهای متصل به ثانویه پست فوق توزیع نسبت به ظرفیت مولدهای پراکنده متصل به پست فوق توزیع، قابل ملاحظه باشد (یعنی حداقل بیش از سه برابر ظرفیت مولدهای پراکنده باشد) در این صورت به دلیل افت ولتاژ و فرکانسی که به دلیل بی‌برق شدن پست فوق توزیع در محل اتصال مولدهای پراکنده به شبکه ایجاد می‌شود، رله‌های ولتاژی و فرکانسی عمل کرده و باعث جدا شدن مولدها از شبکه خواهند شد. اما چنانچه ظرفیت مولدهای پراکنده نسبت به حداقل بار سالیانه فیدر قابل ملاحظه باشد، امکان ایجاد جزیره ناخواسته پس از بی‌برق شدن پست فوق توزیع وجود دارد، بنابراین باید از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ جهت جلوگیری از ایجاد جزیره ناخواسته استفاده نمود. به همین منظور، برای بدست آوردن تنظیمات صحیح برای این رله‌ها، باید مطالعات لازم با در نظر گرفتن بی‌برق شدن پست فوق توزیع و حداقل بار سالیانه فیدرهای متصل به پست فوق توزیع انجام گیرد و میزان تغییرات فرکانس در واحد زمان و تغییرات زاویه فاز روتور در اثر بی-برق شدن پست فوق توزیع بررسی گردد.

اما اگر به هر دلیلی کلیدی که در نقطه $A$ از شکل ۲-۲۶ قطع گردد (یعنی محل اتصال فیدر خصوصی به ثانویه پست توزیع)، در صورتی که بار محلی وجود نداشته باشد، به علت نبود سایر مصرف‌کنندگان بر روی فیدر مورد نظر و اختصاصی بودن این قسمت از فیدر، به علت افزایش بیش از حد مجاز ولتاژ و فرکانس و عملکرد رله‌های ولتاژی و فرکانسی، $DG$ نیز از شبکه جدا خواهد شد. اما اگر بار محلی وجود داشته باشد و مقدار دیماند آن یا حداکثر مصرف آن قابل توجه بوده و در حد میزان تولید $DG$ باشد، باید از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ و سیستم انتقال تریپ بین کلید $A$ و کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه جهت جداسازی $DG$ از شبکه استفاده نمود.

همچنین، در صورتی که در این فیدر از ریکلوزر استفاده شده باشد، حتماً باید از سیستم انتقال تریپ استفاده شود، چون اگر به هر دلیلی کلید $A$ قطع شود و $DG$ از مدار خارج نشود امکان اتصال غیرسنکرون مولدهای پراکنده به شبکه وجود دارد که این امر خسارات بسیار زیادی را به همراه خواهد داشت.

نکته قابل توجه دیگری که در هنگام طراحی سیستم حفاظتی در طرح ۴ باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، نوع اتصال ترانسفورماتور متصل‌کننده $DG$ به شبکه است. باید توجه داشت که برخی از توابع حفاظتی و طرح‌های حفاظتی بکار رفته در سیستم اتصال با توجه به نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور تغییر می‌کنند.

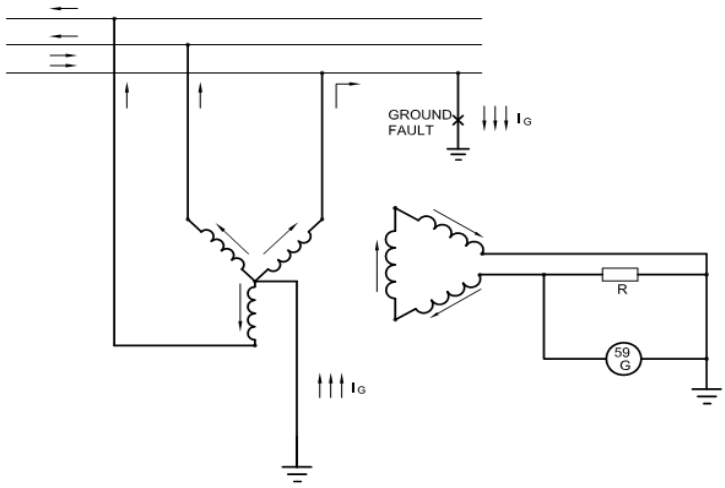
با توجه به مزایایی که استفاده از ترانسفورماتورهای $YNd$ نسبت به ترانسفورماتورهای رایج $Dyn$ دارند، مثل تشخیص آسان‌تر وقوع خطای تکفاز به زمین در سمت شبکه و ... ، در این راهنما طرحی که برای سیستم حفاظت پیشنهاد شده است، بر اساس استفاده از ترانسفورماتور $YNd$ است، که در شکل ۲-۲۸ نیز نشان داده شده است.

در صورت استفاده از ترانسفورماتور $Dyn$ برای اتصال $DG$ به شبکه، که در آن سمت فشارمتوسط ترانسفورماتور دارای اتصال مثلث است، علاوه بر حفاظت‌های نشان داده شده در شکل ۲-۲۸ یکی از روش‌های زیر نیز باید بمنظور آشکارسازی خطاهای تکفازی که در سمت شبکه رخ می‌دهند، بکار گرفته شود:

- در روش اول، در سمت فشار متوسط به منظور آشکارسازی وقوع خطای تکفاز در شبکه، یا باید از ترانسفورماتور زمین استفاده شود و یا از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز که اولیه آنها به صورت ستاره زمین‌شده و ثانویه آنها دارای اتصال مثلث باز است و توسط رله $59G$ بسته می‌شود. که این امر در شکل ۲-۲۷ نیز نشان داده شده است.

  در این صورت نیز چنانچه خطای تکفاز در سمت شبکه رخ دهد به دلیل عدم تعادل ولتاژی که بین فازهای مختلف به وجود می‌آید، رله $59G$ تحریک شده و دستور قطع $DG$ را صادر می‌کند.
- در روش دوم، از سیستم انتقال تریپ جهت آشکارسازی خطاهای تکفاز به زمین در سمت شبکه و جلوگیری از به وجود آمدن جزیره ناخواسته توسط $DG$ استفاده می‌شود. در این روش چنانچه خطای تکفازی در سمت شبکه رخ دهد، حفاظتهای موجود در شبکه وقوع خطا را تشخیص داده و کلید سر فیدر فشارمتوسط را قطع می‌کنند، به محض قطع شدن این کلید یک سیگنال توسط سیستم انتقال

تریپ به کلید متصل‌کننده *DG* به شبکه ارسال می‌شود و باعث جدا شدن *DG* از شبکه و توقف تزریق انرژی توسط *DG* به شبکه می‌شود.




شکل (۲-۲۷): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز

بنابراین، در صورت استفاده از ترانسفورماتور *Dyn* در طرح ارائه شده در شکل ۲-۲۸، علاوه بر طرح حفاظتی ارائه شده در این شکل برای ترانسفورماتورهای *YNd*، باید یکی از تمهیدات فوق اندیشیده شود.

### ج- تجهیزات اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت مولدهای کلاس ۵ بین ۷ تا ۲۵ مگاوات است، بنابراین، بر طبق استاندارد ۱۵۴۷ *IEEE std* باید برخی از پارامترها در سیستم اتصال *DG* به شبکه مانیتور شود. بر طبق استاندارد ۱۵۴۷ *IEEE std* در مورد مانیتورینگ مولدهای پراکنده بالای ۲۰۰*kW* داریم:

"مولدهای مقیاس کوچک با ظرفیت (یا مجموع ظرفیت متصل به یک نقطه اتصال مشترک) ۲۰۰ کیلووات یا بیشتر یعنی کلاسهای ۳ و۴ و ۵ باید دارای تجهیزاتی برای مانیتورینگ و پایش وضعیت سیستم متصل‌کننده مولد به شبکه (وضعیت کلید *PCC*)، توان اکتیو خروجی، توان راکتیو خروجی و ولتاژ در نقطهٔ اتصال مولد به شبکه باشند. این مانیتورینگ می‌تواند به صورت محلی یا از راه دور باشد."

البته وضعیت درب پست پاساژ نیز یکی از پارامترهایی است که با توافقی که بین مالک *DG* بهره‌بردار شبکه انجام می‌شود، می‌تواند مونیتور گردد. ممکن است با توجه به توافقی که بین مالک *DG* و بهره‌بردار شبکه صورت می‌گیرد، نیاز به مونیتور شدن پارامترهای دیگری نیز باشد.

ملزومات مورد نیاز برای مانیتورینگ شامل موارد زیر می‌باشد:

- ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان
- پورتهای نرم‌افزاری[۱] بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز
- تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری
- RTUها
- ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ

در صورتیکه، مالک $DG$ طبق توافقی که با بهره‌بردار شبکه صورت می‌گیرد، قصد تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و فقط بخواهد یک بار محلی را تغذیه کند، در هیچ صورتی $DG$ اجازه تزریق توان به شبکه را ندارد و در صورت قطع بارهای متصل به $DG$، مولدهای پراکنده نیز باید از شبکه خارج شوند.

بنابر توافقی که صورت می‌گیرد، هزینه قسمتی از تجهیزات مونیتورینگ که در سمت پست پاساژ قرار می‌گیرد، بر عهده مالک $DG$ و هزینه تجهیزات مورد نیاز در سمت دیسپاچینگ توزیع، بر عهده بهره‌بردار شبکه خواهد بود.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد تولیدی توسط $DG$ وجود دارد، لازم است بهره‌بردار شبکه کنتورهایی را جهت ثبت انرژی ورودی ($kWh\ (in)$) و انرژی خروجی ($kWh\ (out)$) نصب کند. به طور کلی دو حالت زیر را برای نصب کنتور می‌توان مورد بررسی قرار داد:

الف- مولدهای خود تأمین و دارای بار محلی

در این حالت به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_1$) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_2$) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_3$) استفاده نماید که قابلیت اندازه‌گیری انرژی در هر دو جهت را داشته باشد، هم انرژی که $DG$ به شبکه تزریق می‌کند و هم انرژی که از شبکه دریافت می‌کند. که این امر در دیاگرام شکل ۲-۲۸ نیز نشان داده شده است.

[۱] Software ports

## ب- مولدهای بدون بار محلی

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام توان تولیدی توسط *DG* به شبکه تزریق می‌شود، تنها استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه کفایت می‌کند. نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در مورد مولدهای پراکنده کلاس ۵ که از طریق طرح ۴ به شبکه متصل می‌شوند، همانند مولدهای کلاس ۴ که از طریق این طرح به شبکه متصل می‌شوند (شکل ۳-۲۵)، می‌باشد.

جدول ۲-۱۳ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی در این طرح را نشان می‌دهد. دیاگرام تک‌خطی اتصال DG کلاس (۵)/ طرح (۴) در شکل ۲-۲۸ ارائه شده است.

جدول (۲-۱۳): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال *DG* کلاس (۵) براساس طرح (۴)

| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | تجهیزات اتوماسیون و مانیتورینگ | تجهیزات اندازه‌گیری |
| --- | --- | --- | --- |
| • کلید سنکرون<br>• کلیدهای قدرت<br>• سکسیونر<br>• AVR<br>• گاورنر | **الزامی:**<br>• رله سنکرون‌چک (۲۵)<br>• افت ولتاژ (۲۷)<br>• توان معکوس (۳۲)*<br>• اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)<br>• اضافه جریان آنی (۵۰/۵۰N)<br>• اضافه جریان معکوس زمانی (۵۱/۵۱G)<br>• افزایش ولتاژ آنی و تأخیری (۵۹)<br>• افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>• رله نرخ تغییرات فرکانس (۸۱R)<br>• رله جابجایی زاویه فاز (۷۸)<br>• توالی فاز ولتاژ (۴۷)<br>• خطای کلید قدرت (۵۲)<br>**پیشنهادی:**<br>• بالانس ولتاژ (۶۰)<br>• اضافه جریان جهت‌دار (۶۷) | • ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان<br>• پورتهای نرم‌افزاری بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز<br>• تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری RTUها<br>• ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ<br>• انتقال تریپ | • کنتورها<br>• ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ (CT، VT) |

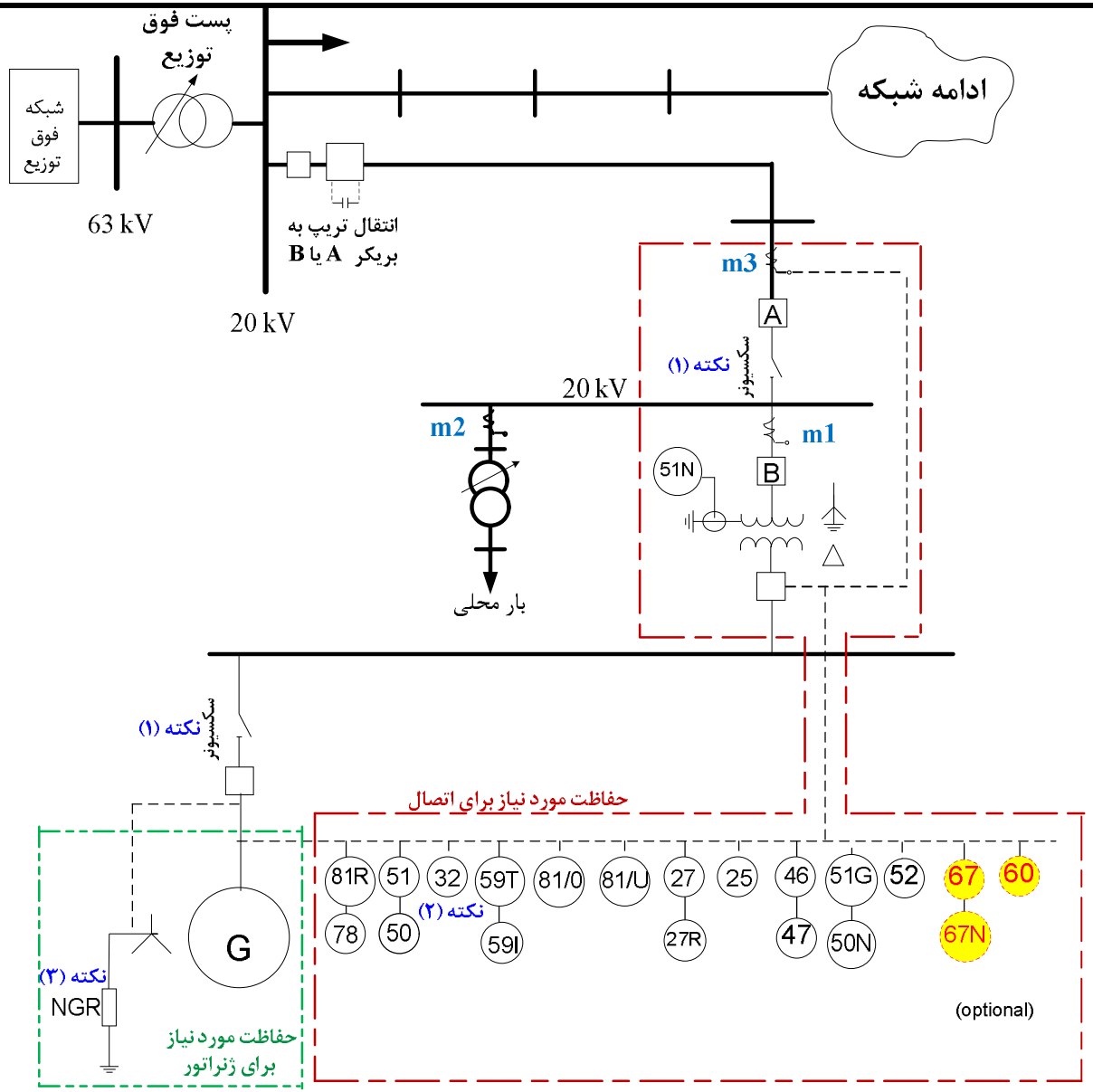
* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط *DG* به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

## راهنمای حفاظت

۲۵- سنکرون چک
۲۷- رله افت ولتاژ
۲۷R- رله افت ولتاژ آنی
۳۲- رله توان معکوس
۴۶- اضافه جریان توالی فاز منفی
۴۷- توالی فاز ولتاژ
۴۹- دمای سیم‌بندی (اضافه بار)
۵۰/۵۱- اضافه جریان آنی/ تاخیری
۵۰N- اضافه جریان نول آنی
۵۱G- اضافه جریان زمین معکوس زمانی
۵۱V- اضافه جریان کنترل‌شده با ولتاژ
۵۲ – خطای کلید قدرت
۵۹I- اضافه ولتاژ آنی
۵۹T- اضافه ولتاژ تاخیری
۶۰- رله تعادل ولتاژ
۶۷- اضافه جریان جهت‌دار
۶۷N- اضافه جریان جهت‌دار نول
۸۱/O- اضافه فرکانس
۸۱/U- افت فرکانس

## راهنـــمای نقشـه

تعداد مورد نیاز (x)
اندازه گیری
فیوز
مقاومت زمین کننده نول
بریکر
سکسیونر
ترانسفورماتور




شکل (۲-۲۸): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۵ از طریق طرح ۴ به شبکه توزیع

- **برخی از نکات شکل ۲-۲۸:**

**نکته ۱:**

باید توجه داشته باشیم در صورت استفاده از سکسیونر باید تیغه زمین آن در سمت شبکه نباشد تا امکان زمین شدن شبکه وجود نداشته باشد.

**نکته ۲:**

رله توان معکوس (۳۲)، برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

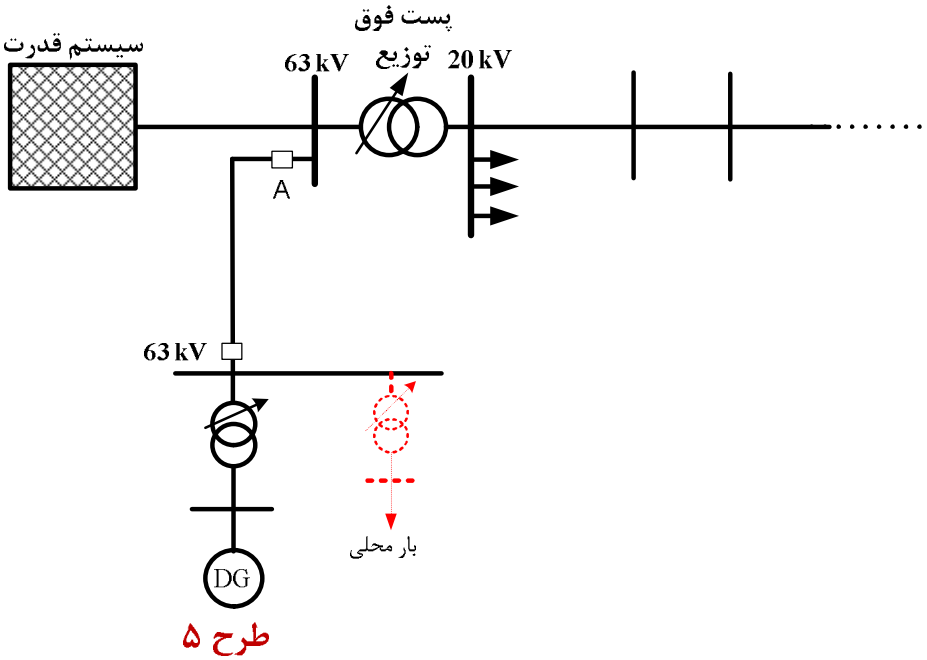
**نکته ۳:**

نیاز به استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور ($NGR$) و مقدار این مقاومت با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

## ۲-۱۰- منابع تولید پراکنده کلاس (۵) و طرح اتصال (۵)

شکل ۲-۲۹ اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه را بر اساس طرح ۵ نشان می‌دهد. با توجه به تقسیم‌بندی انجام شده در جدول ۱-۲، منابع تولید پراکنده کلاس ۵، یعنی ژنراتورهایی با ظرفیت بین ۷ تا ۲۵ مگاوات، از طریق این طرح می‌توانند به شبکه متصل شوند.

همانطور که در شکل ۲-۲۹ نیز مشاهده می‌شود در این طرح، منابع تولید پراکنده از طریق فیدر اختصاصی و همچنین ترانسفورماتور اختصاصی به باسبار $kV$ ۶۳ پست فوق توزیع متصل می‌شوند.




**شکل (۲-۲۹): شماتیک دیاگرام تک‌خطی طرح (۵)**

هدف از بکارگیری ترانسفورماتور اختصاصی این است که چون جریان تزریق شده توسط ژنراتور به شبکه در سطح ولتاژ پایین زیاد است و هادی‌های شبکه نمی‌توانند به لحاظ حرارتی این جریان را تحمل کنند، بنابراین سطح ولتاژ توان تولیدی توسط $DG$ افزایش می‌یابد. همچنین برای اینکه ژنراتور بتواند توان خود را به شبکه تزریق کند باید سطح ولتاژ افزایش یابد تا با سطح ولتاژ شبکه یکسان شود. به علاوه، استفاده از ترانسفورماتور باعث کاهش سطح اتصال‌کوتاه و کاهش تأثیرگذاری $DG$ بر شبکه از نقطه نظر افت و خیزهای ولتاژ و یا هارمونیک‌های تولیدی و برعکس خواهد شد.

### ۲-۱۰-۱- حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی

وجود تجهیزات کلیدزنی مورد نیاز شامل کلید سنکرون‌کننده، کلیدهای قدرت و سکسیونر از ملزومات اصلی سیستم متصل‌کننده $DG$ به شبکه بشمار می‌روند که باید با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه و پخش‌بار به دقت انتخاب و در محل مناسب نصب شوند. استفاده از این تجهیزات به منظور اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه در حالت سنکرون، قطع $DG$ در موارد اضطراری و ایجاد جزیره ناخواسته در شبکه و همچنین انجام تعمیرات در شبکه و در مولدهای پراکنده ضروری می‌باشد.

برخی از این نیروگاههای تولید پراکنده در محوطه پستهای فوق توزیع نصب و راه‌اندازی می‌شوند که معمولاً دارای بار محلی نیستند و تمام توان تولیدی توسط این نیروگاهها به شبکه تزریق می‌شود.

در برخی از فیدرها بمنظور کاهش تعداد ساعت خاموشی در ابتدای فیدر از ریکلوزر استفاده می‌شود که در چنین مواردی حتماً باید تمهیدات لازم برای جدا شدن $DG$ از شبکه در شرایطی که کلید سر فیدر قطع می‌شود، در نظر گرفته شود. سایر تجهیزات جانبی مورد نیاز در این طرح عبارتند از:

#### الف- تجهیزات کنترلی

از آنجایی که منابع تولید پراکنده در هیچ‌یک از کلاس‌ها، در هنگام بهره‌برداری موازی با شبکه مجاز به تنظیم ولتاژ فعال در باسهای شبکه نیستند، بنابراین، بهره‌برداری از این منابع در حالت موازی با شبکه در مود $\cos\phi$ ثابت انجام می‌شود، یعنی ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولیدی خود را در ضریب توان ثابت به شبکه تحویل می‌دهد. در چنین شرایطی، $AVR$ وظیفه دارد تحریک ژنراتور را به گونه‌ای کنترل کند که ژنراتور در ضریب توان ثابت مورد بهره‌برداری قرار بگیرد و توان تولیدی در این ضریب توان ثابت به شبکه تزریق شود. در این حالت تنظیم ولتاژ بر عهده بهره‌بردار شبکه است و مولد نباید به صورت فعال ولتاژ را تنظیم کند.

اما هنگامی که ژنراتور از شبکه جدا می‌گردد و قصد تغذیه بار محلی خود را دارد و توانی به شبکه تزریق نمی‌کند، می‌توان $AVR$ ژنراتور را در مود $PV$ قرار داد، تا مولد ولتاژ بار محلی خود را تنظیم کند و بار محلی در اثر افت ولتاژ یا افزایش ولتاژ آسیب نبیند. چنانچه قرار نیست که این ژنراتور به صورت مجزا از شبکه بهره‌برداری شود، تنظیم $AVR$ همواره در مود $PQ$ یعنی $\cos\phi$ ثابت خواهد بود.

همچنین برای تنظیم توان اکتیو تولیدی توسط ژنراتور و تنظیم فرکانس ژنراتور با فرکانس شبکه نیاز به گاورنر است تا بتواند فرکانس توان تولیدی توسط ژنراتور را در مقدار ثابتی نگه دارد.

## ب- تجهیزات حفاظتی

نکته مهمی که در این راهنما باید مد نظر قرار داد این است که هدف بررسی حداقل تجهیزات حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال $DG$ به شبکه است، به عبارت دیگر هدف این راهنما، حفاظت شبکه در برابر تأثیرات ناشی از $DG$ است و طرحهای حفاظتی که در این راهنما ارائه می‌شود تضمینی برای حفاظت موتور و ژنراتور تولید پراکنده نیست. مسئولیت حفاظت از $DG$ بر عهده مالک $DG$ است و مالک $DG$ باید برای حفاظت مولدهای خود در برابر اغتشاشات مختلف حفاظت‌های لازم را پیش‌بینی نماید.

در صورتیکه مولد پراکنده دارای بار محلی باشد، به عبارت دیگر، مولد پراکنده جهت تأمین تمام یا قسمتی از مصرف بار محلی که مالکیت و مسئولیت حقوقی آن بر عهده مالک $DG$ است، به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار گیرد، چنانچه در قراردادی که بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه منعقد می‌شود، مولد پراکنده اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و صرفاً جهت تأمین بار محلی به صورت موازی با شبکه بکار گرفته شود و یا برای تزریق توان به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده باشد که مولد پراکنده بیشتر از آن مقدار اجازه تزریق توان به شبکه را نداشته باشد، باید از یک رله توان معکوس و یا حداقل توان که با شماره ۳۲ در استانداردهای حفاظتی مشخص می‌شود، استفاده گردد تا در صورتیکه بار محلی به هر دلیلی از شبکه جدا گردید، سقف تزریق توان توسط مولد به شبکه کنترل شود و اجازه تزریق توان به مولد بیش از حد مجاز داده نشود. در صورتی که بار محلی وجود نداشته باشد و تمام توان تولیدی توسط مولد به شبکه تزریق شود نیازی به استفاده از رله توان معکوس جهت حفاظت سیستم اتصال نیست. (البته مالک $DG$ ممکن است بمنظور حفاظت مولدهای خود در برابر موتوری شدن از رله توان معکوس استفاده کند تا در صورتی که توان تزریقی از سمت شبکه به سمت مولدها از یک مقدار مشخص بیشتر شد دستور قطع $DG$ از شبکه را صادر نماید که در این راهنما مد نظر نیست و حفاظت ژنراتورها بر عهده مالک $DG$ است.)

برخی از حداقل توابع حفاظتی مورد نیاز در سیستم اتصال $DG$ به شبکه عبارتند از:

- رله سنکرون‌چک (۲۵)
- رله افت ولتاژ (۲۷)
- رله توان معکوس (۳۲)
- رله اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)
- رله اضافه جریان آنی (۵۰/۵۰N)
- رله اضافه جریان معکوس زمانی (۵۱/۵۱G)

- رله افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)
- افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)
- رله نرخ تغییرات فرکانس ROCOF (۸۱R)
- رله جابجایی زاویه فاز (۷۸)
- رله توالی فاز ولتاژ (۴۷)
- اضافه جریان جهت‌دار (۶۷)
- اضاف جریان جهتدار زمین (۶۷N)
- رله خطای بریکر (۵۲)

در کنار تجهیزات فوق، توابع و تجهیزات حفاظتی زیر نیز به عنوان حفاظت تکمیلی پیشنهاد می‌شوند:

- رله تعادل ولتاژ (۶۰)

ظرفیت مولدهایی که در کلاس ۵ قرار می‌گیرند بین ۷ مگاوات تا ۲۵ مگاوات است و در طرح ۵ مولدها از طریق فیدر و ترانسفورماتور اختصاصی به اولیه پست فوق توزیع متصل می‌شوند.

در برخی از موارد در طرح ۵ مولدها در داخل پست فوق توزیع نصب می‌شوند و بیشتر بمنظور تولید و تزریق توان به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و دارای بار محلی نیستند.

در صورتیکه مولدها دارای بار محلی نباشند و هدف تنها تولید و تزریق توان به شبکه است. در چنین مواردی در صورتیکه به هر دلیلی کلید سر فیدر (کلید $A$ در شکل ۲-۲۹) قطع شود، به دلیل اینکه هیچ مصرف‌کننده دیگری بر روی فیدر قرار ندارد، بمحض قطع کلید $A$، ولتاژ و فرکانس در نقطه اتصال $DG$ به شبکه از حدود مجاز فراتر خواهد رفت که تحریک رله‌های حفاظتی ولتاژی و فرکانسی را در پی‌خواهد شد که منجر به قطع مولدهای پراکنده از شبکه خواهد شد.

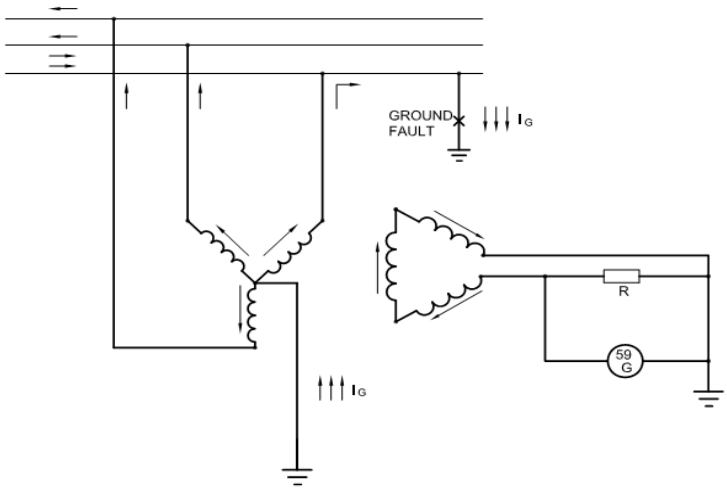
اما اگر بار محلی وجود داشته باشد و مقدار دیماند آن یا حداکثر مصرف آن قابل توجه و در حد میزان تولید $DG$ باشد، باید از رله‌های جابجایی فاز و $ROCOF$ و سیستم انتقال تریپ بین کلید $A$ و کلید متصل‌کننده $DG$ به شبکه جهت جداسازی $DG$ از شبکه در صورت قطع کلید سر فیدر استفاده نمود. اما، چنانچه میزان حداکثر مصرف بار محلی کمتر از یک سوم تولید $DG$ باشد، نیازی به استفاده از سیستم انتقال تریپ نیست و رله‌های ولتاژی و فرکانسی $DG$ را از مدار خارج می‌کنند. همچنین حتماً باید از سیستم انتقال تریپ استفاده شود، چون اگر به هر دلیلی کلید $A$ قطع شود و $DG$ از مدار خارج نشود امکان اتصال غیرسنکرون مولدهای پراکنده به شبکه وجود دارد که این امر خسارات بسیار زیادی را به همراه خواهد داشت.

نکته قابل توجه دیگری که در هنگام طراحی سیستم حفاظتی در طرح ۵ باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، نوع اتصال ترانسفورماتور متصل‌کننده *DG* به شبکه است. باید توجه داشت که برخی از توابع حفاظتی و طرح‌های حفاظتی بکار رفته در سیستم اتصال با توجه به نوع سیم‌بندی ترانسفورماتور تغییر می‌کنند.

با توجه به مزایایی که استفاده از ترانسفورماتورهای *YNd* نسبت به ترانسفورماتورهای رایج *Dyn* دارند، مثل تشخیص آسان‌تر وقوع خطای تکفاز به زمین در سمت شبکه و ... ، در این راهنما طرحی که برای سیستم حفاظت پیشنهاد شده است، بر اساس استفاده از ترانسفورماتور *YNd* است، که در شکل ۲-۳۲ نیز نشان داده شده است. در صورت استفاده از ترانسفورماتور *Dyn* برای اتصال *DG* به شبکه، که در آن سمت فشارمتوسط ترانسفورماتور دارای اتصال مثلث است، علاوه بر حفاظت‌های نشان داده شده در شکل ۲-۳۲ یکی از روش‌های زیر نیز باید بمنظور آشکارسازی خطاهای تکفازی که در سمت شبکه رخ می‌دهند، بکار گرفته شود:

- در روش اول، در سمت فشار متوسط به منظور آشکارسازی وقوع خطای تکفاز در شبکه، یا باید از ترانسفورماتور زمین استفاده شود و یا از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز، که اولیه آنها به صورت ستاره زمین‌شده و ثانویه آنها دارای اتصال مثلث باز است و توسط رله *۵۹G* بسته می‌شود. که این امر در شکل ۲-۳۰ نیز نشان داده شده است.

  در این صورت نیز چنانچه خطای تکفاز در سمت شبکه رخ دهد به دلیل عدم تعادل ولتاژی که بین فازهای مختلف به وجود می‌آید، رله *۵۹G* تحریک شده و دستور قطع *DG* را صادر می‌کند.
- در روش دوم، از سیستم انتقال تریپ جهت آشکارسازی خطاهای تکفاز به زمین در سمت شبکه استفاده می‌شود مخصوصاً هنگامی که بار محلی وجود دارد و مقدار بار محلی نسبت به میزان تولیدی *DG* قابل ملاحظه است. در این روش چنانچه خطای تکفازی در سمت شبکه رخ دهد، حفاظتهای موجود در شبکه وقوع خطا را تشخیص داده و کلید سر فیدر فشارمتوسط را قطع می‌کنند، به محض قطع شدن این کلید یک سیگنال توسط سیستم انتقال تریپ به کلید متصل‌کننده *DG* به شبکه ارسال می‌شود و باعث جدا شدن *DG* از شبکه و توقف تزریق انرژی توسط *DG* به شبکه می‌شود.




**شکل (۲-۳۰): ایجاد نقطه نوترال با استفاده از سه ترانسفورماتور ولتاژ تکفاز**

بنابراین، در صورت استفاده از ترانسفورماتور *Dyn* در طرح ارائه شده در شکل ۲-۳۲، علاوه بر طرح حفاظتی ارائه شده در این شکل برای ترانسفورماتورهای *YNd*، باید یکی از تمهیدات فوق اندیشیده شود.

### ج- تجهیزات اتوماسیون و اندازه‌گیری

از آنجایی که ظرفیت مولدهای کلاس ۵ بین ۷ تا ۲۵ مگاوات است، بنابراین، بر طبق استاندارد *IEEE std* ۱۵۴۷ باید برخی از پارامترها در سیستم اتصال *DG* به شبکه مانیتور شود. بر طبق استاندارد *IEEE std* ۱۵۴۷ در مورد مانیتورینگ مولدهای پراکنده بالای ۲۰۰*kW* داریم:

"مولدهای مقیاس کوچک با ظرفیت (یا مجموع ظرفیت متصل به یک نقطه اتصال مشترک) ۲۰۰ کیلووات یا بیشتر یعنی کلاسهای ۳ و۴ و ۵ باید دارای تجهیزاتی برای مانیتورینگ و پایش وضعیت سیستم متصل‌کننده مولد به شبکه (وضعیت کلید *PCC*)، توان اکتیو خروجی، توان راکتیو خروجی و ولتاژ در نقطهٔ اتصال مولد به شبکه باشند. این مانیتورینگ می‌تواند به صورت محلی یا از راه دور باشد."

البته وضعیت درب پست پاساژ نیز یکی از پارامترهایی است که با توافقی که بین مالک *DG* بهره-بردار شبکه انجام می‌شود، می‌تواند مونیتور گردد. ممکن است با توجه به توافقی که بین مالک *DG* و بهره‌بردار شبکه صورت می‌گیرد، نیاز به مونیتور شدن پارامترهای دیگری نیز باشد.

ملزومات مورد نیاز برای مانیتورینگ شامل موارد زیر می‌باشد:

- ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان
- پورتهای نرم‌افزاری[۱] بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز

[۱] Software ports

- تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری
- RTUها
- ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ

در صورتیکه، مالک $DG$ طبق توافقی که با بهره‌بردار شبکه صورت می‌گیرد، قصد تزریق توان به شبکه را نداشته باشد و فقط بخواهد یک بار محلی را تغذیه کند، در هیچ صورتی $DG$ اجازه تزریق توان به شبکه را ندارد و در صورت قطع بارهای متصل به $DG$، مولدهای پراکنده نیز باید از شبکه جدا گردند.

بنابر توافقی که صورت می‌گیرد، هزینه قسمتی از تجهیزات مونیتورینگ که در سمت پست پاساژ قرار می‌گیرد، بر عهده مالک $DG$ و هزینه تجهیزات مورد نیاز در سمت دیسپاچینگ توزیع، بر عهده بهره-بردار شبکه خواهد بود.

تعداد و مکان دستگاههای اندازه‌گیری بر اساس مفاد قرارداد بین مالک $DG$ و بهره‌بردار شبکه توافق می‌شود. هنگامی که امکان فروش برق مازاد تولیدی توسط $DG$ وجود دارد، لازم است بهره‌بردار شبکه کنتورهایی را جهت ثبت انرژی ورودی ($kWh\ (in)$) و انرژی خروجی ($kWh\ (out)$) نصب کند. به طور کلی دو حالت زیر را برای نصب کنتور می‌توان مورد بررسی قرار داد:

الف- مولدهای خود تأمین و دارای بار محلی

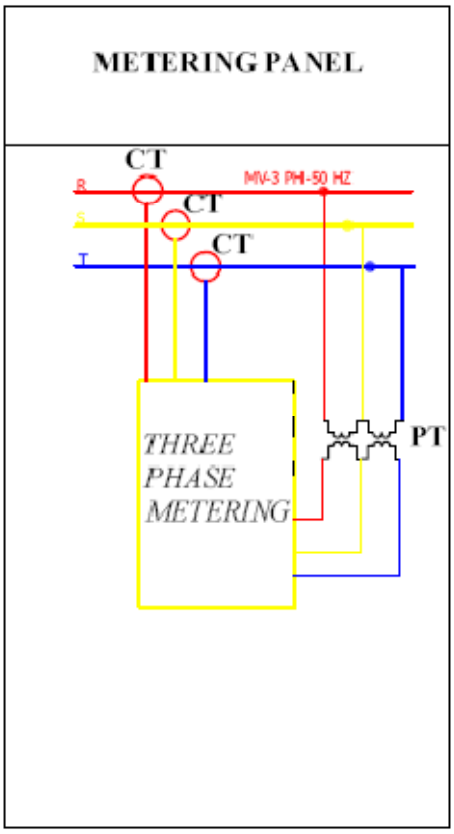
در این حالت به دلیل وجود تعرفه‌های مختلف برای خرید و فروش برق، بهره‌بردار یا باید از دو کنتور یک جهته مجزا، یکی در بالادست کلید ژنراتور (نقطه $m_1$) و دیگری در بالادست کلید قطع بار (نقطه $m_2$) استفاده نماید تا بتواند توان تولیدی و مصرفی را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کند و یا از یک کنتور دو جهته در نقطه اتصال (نقطه $m_3$) استفاده نماید که قابلیت اندازه‌گیری انرژی در هر دو جهت را داشته باشد، هم انرژی که $DG$ به شبکه تزریق می‌کند و هم انرژی که از شبکه دریافت می‌کند. که این امر در دیاگرام شکل ۲-۳۲ نیز نشان داده شده است.

ب- مولدهای بدون بار محلی

در این حالت چون به صورت محلی انرژی مصرف نمی‌شود و تمام توان تولیدی توسط $DG$ به شبکه تزریق می‌شود، تنها استفاده از یک کنتور جهت قرائت میزان توان تزریقی توسط ژنراتور به شبکه کفایت می‌کند.

از آنجایی که در طرح ۵ از یک ترانسفورماتور اختصاصی جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه استفاده می‌شود و نقطه اندازه‌گیری در قسمت بالادست ترانسفورماتور می‌باشد، در نتیجه، کنتور به طور مستقیم نمی‌تواند ولتاژ سه‌فاز را اندازه‌گیری نماید.

در این طرح، ولتاژ عمدتاً توسط دو دستگاه ترانسفورماتور ولتاژ با مشخصات مندرج در جدول ۲-۱۴ و جریان سه‌فاز با استفاده از سه دستگاه ترانسفورماتور جریان با مشخصات مندرج در جدول ۲-۱۵ برای اندازه‌گیری توسط کنتور مهیا می‌شوند. طرح اتصال لوازم اندازه‌گیری در شکل ۲-۳۱ نشان داده شده است.




شکل (۲-۳۱): نحوه اتصال لوازم اندازه‌گیری در طرح ۵

**جدول (۲-۱۴): مشخصات ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط**

| TYPE | INDOOR |
|---|---|
| LINE TO LINE VOLTAGE | ۲۰ KV |
| MAXIMUM SERVICE VOLTAGE | ۲۴ KV |
| ONE MINUTE POWER – FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGE | |
| BETWEEN PRIMARY AND SECONDARY WINDING | ۵۰ KV |
| BETWEEN SECONDARY WINDING AND EARTH | ۲ KV |
| IMPULSE WITHSTAMD VOLTAGE | ۱۲۵ KV |
| RATED PRIMARY VOLTAGE | ۲۰۰۰۰ V |
| RATED SECONDARY VOLTAGE | ۱۰۰ V |
| ACCURACY CLASS | ۰.۵ |
| RATED BURDEN | ۳۰ VA |
| AMBIENT TEMPERATURE | -۲۵ C TO ۴۵ C |
| ALTITUDE ABOVE SEE LEVEL | ۱۰۰۰ M |
| APPLICAION | METERING |
| ENCLOSURE | CAST-RESIN INSULATED CASTING |

**جدول (۲-۱۵): مشخصات ترانسفورماتور جریان فشار متوسط**

| SPEFICATIONS | ۲۰ KV INDOOR CURRENT TRANSFORMERS |
|---|---|
| system to line voltage | ۲۰ kv |
| max service voltage | ۲۴ kv |
| rated primary current | * amps |
| rated secondary current | ۵ amps |
| test voltage insulation | ۵۵/۱۴۲ kv |
| nominal frequency | ۵۰ HZ |
| no of cores | SINGLE |
| application | Metering |
| class of accuracy | ۰.۵ |
| rated burden | ۱۵VA |
| thermal-one second current | ۲۰ kA |
| max dynamic current | ۵۰ kA |

جدول ۲-۱۶ حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی در این طرح را نشان می‌دهد. دیاگرام تک‌خطی اتصال DG کلاس (۵)/ طرح (۵) در شکل ۲-۳۲ ارائه شده است.

**جدول (۲-۱۶): حداقل تجهیزات جانبی پیشنهادی برای اتصال *DG* کلاس (۵) براساس طرح (۵)**

| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظتی | تجهیزات اتوماسیون و مانیتورینگ | تجهیزات اندازه-گیری |
|---|---|---|---|
| • کلید سنکرون<br>• کلید قدرت<br>• سکسیونر<br>• AVR<br>• گاورنر | **الزامی:**<br>• سنکرون‌چک (۲۵)<br>• افت ولتاژ (۲۷)<br>• توان معکوس (۳۲)*<br>• اضافه جریان توالی فاز منفی (۴۶)<br>• اضافه جریان آنی (۵۰/۵۰N)<br>• اضافه جریان معکوس زمانی (۵۱/۵۱G)<br>• افزایش ولتاژ آنی و تاخیری (۵۹)<br>• افزایش و کاهش فرکانس (۸۱)<br>• رله نرخ تغییرات فرکانس (۸۱R)<br>• رله جابجایی فاز (۷۸)<br>• رله خطای عملکرد بریکر (۵۲)<br>• توالی فاز ولتاژ (۴۷)<br>• اضافه جریان جهت‌دار (۶۷)<br>• اضافه جریان جهت‌دار زمین (۶۷N)<br>**پیشنهادی:**<br>• رله تعادل ولتاژ (۶۰) | • ترانسدیوسرها و ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان<br>• پورتهای نرم‌افزاری بر روی تجهیزات مولد مقیاس کوچک برای بازیابی اطلاعات مورد نیاز<br>• تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات و تله‌متری RTUها<br>• ایجاد بستر مخابراتی مناسب جهت انتقال داده‌ها به مرکز دیسپاچینگ<br>• انتقال تریپ | • کنتورها<br>• ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان (VT ،CT) |

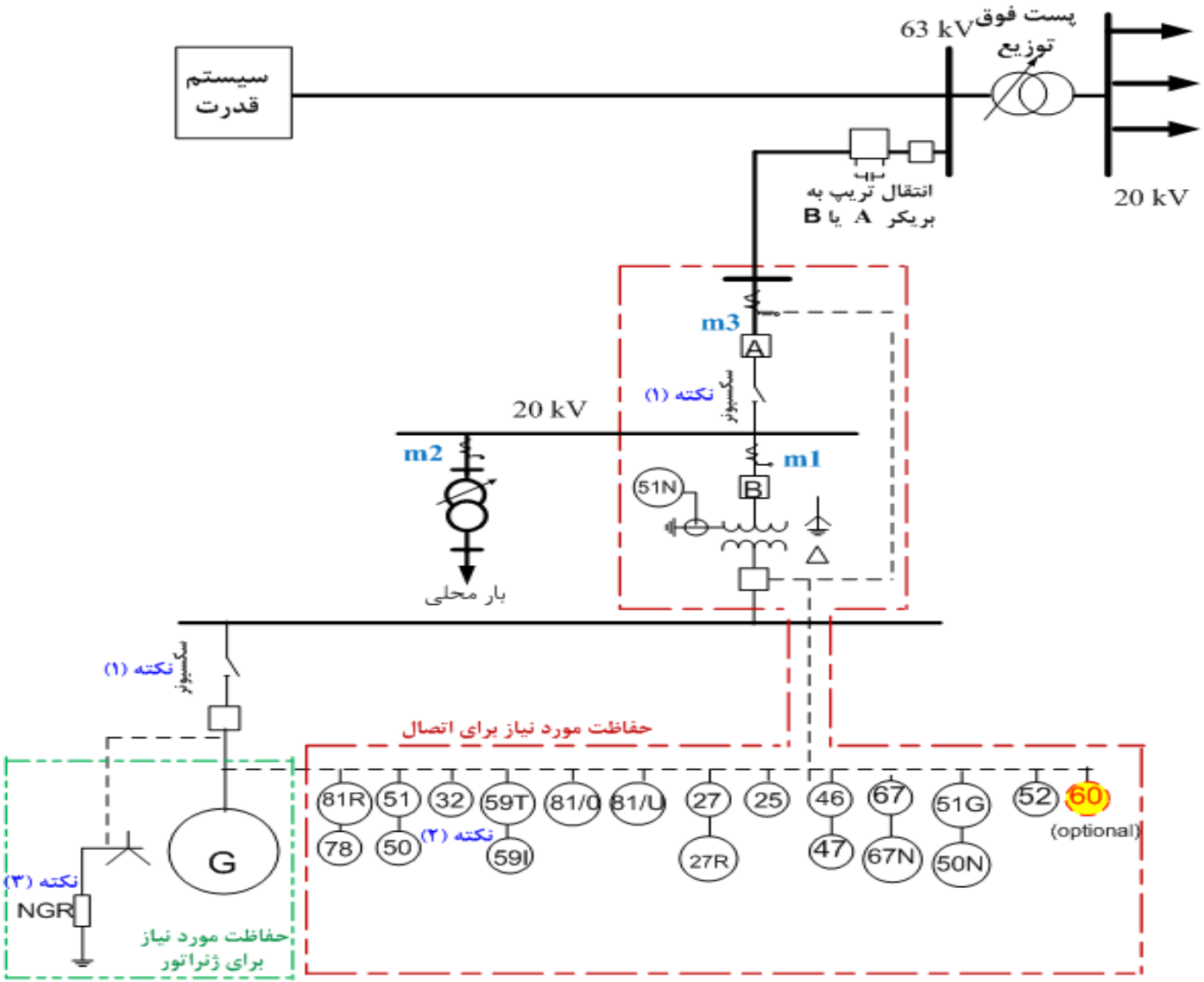
* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط *DG* به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

**راهنمای حفاظت**

۲۵- رله سنکرون چک
۲۷- رله افت ولتاژ
۲۷R- رله افت ولتاژ لحظه‌ای
۳۲- رله توان معکوس
۴۶- اضافه جریان توالی فاز منفی
۴۷- توالی فاز ولتاژ
۵۰/۵۱- اضافه جریان لحظه‌ای/ تاخیری
۵۰N- اضافه جریان نول آنی
۵۱G- اضافه جریان زمین معکوس زمانی
۵۲- خطای کلید قدرت
۵۹I- اضافه ولتاژ آنی
۵۹T- اضافه ولتاژ تاخیری
۶۰- رله تعادل ولتاژ
۶۷- اضافه جریان جهت‌دار
۶۷N- اضافه جریان جهت‌دار نول
۸۱/O- اضافه فرکانس
۸۱/U- افت فرکانس

**راهنـــمای نقشــه**

تعداد مورد نیاز (x)
اندازه گیری
ترانسفورماتور
مقاومت زمین کننده نول
بریکر
سکسیونر
ترانسفورماتور




**شکل (۲-۳۲): تجهیزات حفاظتی مورد نیاز جهت اتصال منابع تولید پراکنده کلاس۵ از طریق طرح ۵ به شبکه توزیع**

## ➢ برخی از نکات شکل ۲-۳۲:

**نکته ۱:**

باید توجه داشته باشیم در صورت استفاده از سکسیونر باید تیغه زمین آن در سمت شبکه نباشد تا امکان زمین شدن شبکه وجود نداشته باشد.

**نکته ۲:**

رله توان معکوس (۳۲)، برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط $DG$ به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

**نکته ۳:**

نیاز به استفاده از مقاومت زمین‌کننده نقطه نوترال ژنراتور ($NGR$) و مقدار این مقاومت با توجه به نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه مشخص می‌شود.

## ۲- ۱۱- جمع‌بندی

بطور کلی حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز برای اتصال $DG$های کلاس ۱ تا ۵ از طریق طرح‌های اتصال ۱ تا ۵، به شبکه بشرح جداول ۲-۱۷، ۲-۱۸، ۲-۱۹ و ۲-۲۰ جمع‌بندی می‌شود.

### ➢ حداقل تجهیزات کنترل و کلیدزنی :

حداقل تجهیزات کنترل و کلیدزنی به شرح جدول ۲-۱۷ می‌باشد.

جدول (۲-۱۷): حداقل تجهیزات کنترل و کلیدزنی پیشنهادی برای اتصال $DG$ در کلاس‌ها و طرح‌های مختلف

| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | کلاس‌های مختلف و طرح‌های اتصال آنها به شبکه | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | کلاس ۱ (طرح ۱) | کلاس ۱ (طرح ۲) | کلاس ۲ (طرح۲) | کلاس ۲ (طرح۳) | کلاس ۳ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۵) |
| کلید سنکرون | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| کلید قدرت | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| سکسیونر | × | × | × | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| AVR | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| گاورنر | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

### ➢ حداقل تجهیزات حفاظتی :

حداقل تجهیزات حفاظتی به شرح جدول ۲-۱۸ می‌باشد.

**جدول (۲-۱۸): حداقل تجهیزات حفاظتی پیشنهادی برای اتصال $DG$ در کلاس‌ها و طرح‌های مختلف**

| شماره تجهیزات حفاظتی | کلاس‌های مختلف و طرح‌های اتصال آنها به شبکه | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | کلاس ۱ (طرح ۱) | کلاس ۱ (طرح ۲) | کلاس ۲ (طرح۲) | کلاس ۲ (طرح۳) | کلاس ۳ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۵) |
| ۲۵ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۲۷ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۳۲* | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

| شماره تجهیز حفاظتی | کلاس ۱ (طرح ۱) | کلاس ۱ (طرح ۲) | کلاس ۲ (طرح۲) | کلاس ۲ (طرح۳) | کلاس ۳ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۵) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴۶ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۵۰/۵۱ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۵۰/۵۰N | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۵۱/۵۱G | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۵۹** | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۸۱ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۸۱R*** | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۷۸*** | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۵۲ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۴۷ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۶۷ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۶۷N | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ۶۰ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |

* این رله برای ژنراتورهایی که تنها برای تغذیه بار محلی به صورت موازی با شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آنها تزریق توان به شبکه مجاز نمی‌باشد و یا مواردی که برای تزریق توان توسط *DG* به شبکه یک سقف مشخص تعیین شده است، کاربرد دارد.

** استفاده از رله اضافه ولتاژ زمین ۵۹G هنگامی لازم است که احتمال وقوع فرورزنانس وجود دارد. رله اضافه ولتاژ آنی ۵۹*I* برای آشکارسازی شروع فرورزنانس استفاده می‌شود و هنگامی لازم است که:

- از انتقال تریپ استفاده نشود.
- و یا احتمال کلیدزنی تکفاز در شبکه بالادست وجود داشته باشد. (به عنوان مثال استفاده از ریکلوزرهای تکفاز یا فیوزهای تکفاز در *PCC*)

*** در این طرح از این دو تابع حفاظتی تنها زمانی جهت آشکارسازی جزیره استفاده می‌شود که حداکثر بار محلی و یا دیماند بار محلی نزدیک به میزان ظرفیت تولید *DG* باشد و یا حداقل بار سالیانه ترانسفورماتور توزیع نزدیک به ظرفیت *DG* باشد.

### ➢ حداقل تجهیزات اندازه‌گیری:

حداقل تجهیزات اندازه‌گیری به شرح جدول ۲-۱۹ می‌باشد.

**جدول (۲-۱۹): حداقل تجهیزات اندازه‌گیری پیشنهادی برای اتصال *DG* در کلاس‌ها و طرح‌های مختلف**

| تجهیزات اندازه‌گیری | کلاس‌های مختلف و طرح‌های اتصال آنها به شبکه | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | کلاس ۱ (طرح ۱) | کلاس ۱ (طرح ۲) | کلاس ۲ (طرح۲) | کلاس ۲ (طرح۳) | کلاس ۳ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۵) |
| کنتورها | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ترانسفورماتورهای جریان (CT) | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ترانسفورماتورهای ولتاژ (VT) | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

### ➢ حداقل تجهیزات مانیتورینگ:

حداقل تجهیزات مانیتورینگ به شرح جدول ۲-۲۰ می‌باشد.

جدول (۲-۲۰): حداقل تجهیزات مانیتورینگ پیشنهادی برای اتصال *DG* در کلاس‌ها و طرح‌های مختلف

| تجهیزات اندازه‌گیری | کلاس‌های مختلف و طرح‌های اتصال آنها به شبکه | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | کلاس ۱ (طرح ۱) | کلاس ۱ (طرح ۲) | کلاس ۲ (طرح۲) | کلاس ۲ (طرح۳) | کلاس ۳ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۳) | کلاس ۴ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۴) | کلاس ۵ (طرح ۵) |
| ترانسدیوسرها و CTها و VTها | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| پورتهای نرم‌افزاری | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| تجهیزات اندازه-گیری و ثبت داده‌ها | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| RTUها | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ایجاد بستر مخابراتی | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| انتقال تریپ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

**نکته مهم:**

در صورتی که چندین مولد پراکنده در شبکه حضور داشته باشند مطمئناً حضور این مولدها در شبکه بر پارامترهای شبکه و نحوه شارش توان و جریان در شبکه تأثیرگذار خواهد بود و عملکرد سایر مولدهای موجود در شبکه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. به طور کلی، جمع‌بندی ارائه شده در این بخش هم در مورد حضور یک مولد پراکنده در شبکه مصداق دارد و هم برای حضور چند مولد در شبکه. نتایج مطالعات فنی نظیر مطالعات پخش‌بار، اتصال‌کوتاه، هماهنگی حفاظتی و ... تعیین‌کننده تمهیداتی است که باید برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه در نظر گرفته شود و چنانچه در شرایط حضور چندین مولد پراکنده در شبکه لزومی بر در نظر گرفتن و وجود یک تجهیز جانبی خاص جهت اتصال مولد به شبکه باشد بایستی حتماً در نظر گرفته شود و تنظیمات مناسبی برای تجهیزات مورد نظر لحاظ گردد. در چنین مواردی باید زیرساخت ارتباطی مناسب جهت مانیتورینگ همزمان چندین مولد پراکنده توسط شرکت برق در نظر گرفته شود و زیرساخت مورد استفاده در شبکه برق قابلیت ارتقاء و توسعه‌پذیری داشته باشد تا چنانچه در آینده امکان اتصال مولدهای پراکنده بیشتری به شبکه فراهم گردید از نقطه نظر تجهیزات مانیتورینگ مشکلی ایجاد نگردد.

## ۲-۱۲- ملاحظات کلی

با توجه به اینکه محل اتصال کوتاه در شبکه توزیع توسط $DG$ نیز تغذیه می‌شود، بنابراین برای اطمینان از قطع سریع جریان و کاهش تبعات حاصل از عبور جریان خطا توصیه می‌شود به موارد زیر در طراحی سیستم حفاظتی توجه شود:

- **تغذیه کمکی سیستم حفاظتی مولد مقیاس کوچک:**

توصیه می‌شود تغذیه مدار فرمان و کلید نقطه اتصال مشترک با ولتاژ $DC$ انجام شود تا به هنگام افت ولتاژ شدید ناشی از اتصال کوتاه سیستم حفاظتی قادر به بازکردن کلید و رفع سریع خطا باشد.

- **بکارگیری مسیرهای متفاوت در مدارات حفاظتی:**

توصیه می‌شود فرمان قطع هر یک از رله‌های $DG$، رله ترانسفورماتور واسط و رله نقطه اتصال مشترک از طریق دو مدار جداگانه به کلیدهای مربوطه منتقل گردد. ضمناً در صورتی که برای حفاظت مولد و نقطه اتصال مشترک از دو نوع رله استفاده شده باشد، توصیه می‌شود فرمان قطع یکی از آنها از طریق مدار تریپ اول و فرمان قطع رله دوم نیز از طریق مدار تریپ دوم منتقل شود. با این روش اطمینان حاصل

می‌شود که در صورت بروز مشکل در یکی از مدارهای حفاظتی یا تغذیه کمکی آنها، مدار دوم قادر به ارسال فرمان تریپ به کلید خواهد بود.

در صورت افزایش ضریب نفوذ $DG$ها در شبکه برق، مناسب است از خدمات جانبی آنها نظیر مشارکت در کنترل فرکانس و ولتاژ شبکه استفاده شود. از این‌رو توصیه می‌شود امکان استفاده از وضعیت‌های مختلف کنترل‌کننده‌ها در نظر گرفته شود. به عبارتی توصیه می‌شود کنترل‌کننده سیستم تحریک قابلیت کنترل ضریب توان و کنترل ولتاژ را داشته باشد. به‌علاوه توصیه می‌شود کنترل‌کننده محرک اولیه (گاورنر) دارای وضعیت‌های کنترل توان ثابت، دروپ و کنترل فرکانس باشد.

# فصل سوم

# مشخصات فنی تجهیزات جانبی مورد نیاز

# جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه برق

## ۳-۱- مقدمه

در این بخش از راهنما مشخصات لازم برای حداقل تجهیزات جانبی مورد نیاز به شبکه ارائه می‌شود. بدیهی است که مقادیر نامی هر تجهیز بسته به قدرت و مکان مورد استفاده در شبکه تغییر می نماید و حسب مورد و با توجه به شرایط کاربرد انتخاب می گردد.

مرجع تعیین مقدار مناسب برای هر از مشخصات عمومی هر تجهیز عمدتا مقدار اعلام شده توسط شرکت سازنده و یا استانداردهای مرتبط می‌باشد در برخی موارد به ویژه در مورد مشخصات اختصاصی (مانند جریان نامی یا قدرت قطع کلید) این مقادیر از مطالعات مربوطه استخراج می‌گردد که در اینگونه موارد مطالعه مذکور در داخل پرانتز و روبروی آن مشخصه درج شده است.

تجهیزاتی که در این فصل مورد اشاره قرار می گیرند عبارتند:

- کلیدهای قدرت
- سکسیونر
- ریکلوزر
- تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ
- تجهیزات سنکرونیزاسیون
- رله اضافه و زیر ولتاژ
- رله فرکانسی
- رله اضافه جریان
- رله دیفرانسیل ژنراتور
- رله دیفرانسیل ترانسفورماتور
- رله توان معکوس
- رله‌های اضافه و زیر تحریک
- رله خطای زمین محدود شده (R.E.F)
- رله اضافه جریان توالی منفی
- رله اضافه ولتاژ توالی منفی
- رله اضافه جریان جهتی

- رله حفاظت اضافه بار استاتور
- رله قفل‌کننده
- رله تعادل ولتاژ
- ترانسفورماتورهای جریان
- ترانسفورماتور ولتاژ
- آمپرمتر
- ولت‌متر
- واتمتر
- وارمتر
- فرکانس‌متر
- کسینوس فی‌متر
- ترانسفرتریپ
- پایانه‌های راه دور (**RTU**)
- تجهیزات ارتباطی مستقر در هر ایستگاه
- ترانسدیوسر

### ۳-۲- مشخصه‌های فنی کلیدهای قدرت :

کلید های قدرت برای قطع و وصل ولتاژ با قابلیت عملکرد در مدارات حامل جریان بکار می روند. برای این کلیدها مشخصه‌های فنی زیر درنظرگرفته می‌شود:

- ولتاژ نامی (از مطالعات پخش بار)
- جریان نرمال نامی (از مطالعات پخش بار)
- جریان شکست نامی (از مطالعات اتصال کوتاه)
- مدت اتصال‌کوتاه (پایداری گذرا)
- فرکانس نامی (۵۰ هرتز)
- تحمل جریان (اتصال کوتاه)
- جریان پیک (اتصال کوتاه)
- ایستادگی ولتاژ در فرکانس قدرت
- ایستادگی ولتاژ ضربه یا صاعقه

- تعداد بهره‌برداری متوالی نامی
- فاصله تا زمین
- فاصله بین ترمینال‌ها
- زمان بسته شدن
- زمان عملکرد (از مطالعات پایداری گذرا و هماهنگی حفاظتی)
- زمان تلف شده (از مطالعات پایداری گذرا و هماهنگی حفاظتی)

### ۳-۳- مشخصات فنی سکسیونر :

سکسیونر یک تجهیز قطع کننده یا جدا کننده و مخصوص کار در مدارات بدون ولتاژ و جریان می باشد. به عبارتی قبل از کار با سکسیونر باید از قطع بودن مدار توسط کلید قدرت مطمئن بود. این اطمینان از طریق اینترلاک مکانیکی حاصل می شود. برای یک سکسیونر مشخصه‌های فنی زیر باید در نظرگرفته شود :

- ولتاژ نامی (از مطالعات پخش بار)
- جریان نامی (از مطالعات پخش بار)
- شرایط محیطی
- میزان ایستادگی جریان
- میزان ایستادگی ولتاژ
- میزان تحمل مکانیکی
- وزن
- فواصل عایقی

### ۳-۴- مشخصات فنی ریکلوزر :

ریکلوزر یا کلید بازبست برای برخورد با عوامل موقتی که باعث قطع شبکه توسط رله های حفاظتی می شوند مورد استفاده قرار می گیرد.

مشخصات فنی که برای این تجهیز باید در نظرگرفته شود، به شرح زیر می‌باشد:

- حداکثر ولتاژ سیستم (از مطالعات پخش بار)
- میزان ایستادگی ولتاژ
- میزان تحمل جریان پیوسته (از مطالعات پخش بار)

- میزان جریان قطع در ولتاژ نامی (از مطالعات اتصال کوتاه)
- طول خزشی بوشینگ
- عمر مکانیکی
- محدوده درجه حرارت و شرایط محیطی
- زمان‌های عملکردی
- زمان‌های تأخیر
- قدرت مصرفی
- ابعاد و وزن

### ۳-۵- مشخصات فنی تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ:

تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ *(AVR)* از تجهیزات جانبی مولدها می باشد. در مورد مولدهای سنکرون این تجهیز با تنظیم جریان تحریک مولد ولتاژ خروجی را تنظیم می نماید و در صورت اتصال به شبکه با تغییر جریان تحریک، مقدار توان راکتیو یا ضریب توان مولد روی مقدار دلخواه تنظیم می‌گردد. مشخصه‌هایی که برای تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ باید درنظرگرفته شود، به شرح زیر می‌باشد:

- ولتاژ نامی (از مطالعات پخش بار)
- فرکانس نامی (۵۰ هرتز)
- قدرت نامی
- شرایط محیطی
- پاسخ سیستم (از مطالعات پایداری گذرا)
- تنظیمات ولتاژ خروجی (از مطالعات پخش بار)
- حفاظت اضافه تحریک (از مطالعات حفاظت)
- حفاظت اضافه ولتاژ (از مطالعات حفاظت)
- دقت

### ۳-۶- مشخصات فنی تجهیزات سنکرونیزاسیون:

تجهیزات سنکرونیزاسیون شامل رله سنکرون کننده و برای قدرتهای کم بعضاً شامل کلید سنکرون کننده نیز می باشد. مشخصات فنی که برای این تجهیزات باید در نظرگرفته شود، عبارتند از:

- ورودی‌ها
- دقت
- رنج تنظیمات پارامترها
- قدرت مصرفی
- رنج درجه حرارت
- اضافه بار
- تست‌های عایقی
- استانداردها
- عمر الکتریکی و مکانیکی
- زمان تاخیر در قطع و وصل (از مطالعات پایداری گذرا و کیفیت توان)

### ۳-۷- مشخصات فنی رله اضافه و زیر ولتاژ :

تابع حفاظتی اضافه یا کاهش ولتاژ یکی توابع حفاظتی اصلی برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه می باشد که می تواند به صورت یک رله مستقل و یا بخشی از یک رله حفاظتی مجتمع مورد استفاده قرار گیرد. مشخصه‌هایی فنی که باید برای این تجهیز در نظر گرفته شود، به شرح زیر می‌باشد:

- ولتاژ نامی (از مطالعات پخش بار)
- محدوده فرکانسی
- تغییرات تغذیه
- ایزولاسیون
- میزان ایستادگی ولتاژ ضربه
- قدرت مصرفی
- سطوح تریپ (دستورالعمل)
- دقت
- زمان پاسخ (دستورالعمل)
- محدوده دما و رطوبت مجاز
- ملاحظات مکانیکی

### ۳-۸- مشخصات فنی رله فرکانسی:

توابع حفاظتی اضافه یا کاهش فرکانس نیز یکی از توابع حفاظتی اصلی جهت اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه می باشد که می تواند بهصورت یک رله مستقل یا به عنوان بخشی از یک رله مجتمع بکار رود. مشخصه‌های فنی که برای این تجهیز باید در نظر گرفته شود به شرح زیر می‌باشد:

- ولتاژ نامی (از مطالعات پخش بار)
- محدوده فرکانسی (دستورالعمل)
- هیسترزیس
- توان مصرفی
- زمان ریست و زمان عملکردی (دستورالعمل)
- خروجی رله
- محدوده دمای محیط و درصد رطوبت هوا
- ملاحظات مکانیکی
- درجه حفاظتی
- وزن
- دوام و عمر الکتریکی
- دقت
- تست‌های عایقی

### ۳-۹- مشخصات فنی رله اضافه جریان:

تابع حفاظتی اضافه جریان برای حفاظت در برابر جریانهای زیاد ناشی از بروز خطا در بخشهای مختلف شبکه مورد استفاده قرار می گیرد و حسب مورد می تواند بصورت اولیه ( پرایمر) و یا در سمت ثانویه ترانسفورماتورهای جریان (زکوندر) متصل گردد که در این صورت نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان باید متناسب بامقدار جریان نامی و جریان خطای محل نصب آن مشخص گردد. مشخصه‌های فنی که باید برای رله اضافه جریان در نظر گرفته شود به شرح زیر می‌باشد:

- فرکانس نامی (۵۰ هرتز)
- ظرفیت بار (از مطالعات اتصال کوتاه)

- دقت
- تست‌های استقامت عایقی
- درجه حرارت محیط
- محدوده تنظیم جریان (از مطالعات اتصال کوتاه)
- تنظیم تاخیر (از مطالعات پایداری گذرا و هماهنگی حفاظتی)
- قدرت مصرفی
- زمان عمل (از مطالعات پایداری گذرا و هماهنگی حفاظتی)
- کلاس حفاظتی
- عمر الکتریکی و مکانیکی
- خروجی رله

### ۳-۱۰- مشخصات فنی رله دیفرانسیل ژنراتور:

این تجهیز برای حفاظت ژنراتورهای بزرگ در مقابل خطاهای داخلی مورد استفاده قرار می گیرد و برای منابع تولید پراکنده با قدرت کم کاربرد ندارد. مشخصه‌هایی که باید برای این تجهیز در نظر گرفته شود، عبارتند از:

- مقادیر نامی ترانسفورماتورهای اندازه‌گیر (CT) (مشخصه فنی ژنراتور)
- قدرت مصرفی
- زمان‌های بهره‌برداری
- مشخصه‌های دیفرانسیلی
- بارگذاری
- ظرفیت حرارتی
- مشخصه اشباع
- شرایط محیطی
- تست‌ها (مکانیکی، عایقی، ...)
- عمر الکتریکی و مکانیکی
- درجه حفاظتی

### ۳-۱۱- مشخصات فنی رله حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور:

این تجهیز برای حفاظت ترانسفورماتورهای بزرگ (متصل کننده ژنراتورهای بزرگ به شبکه قدرت) در مقابل خطاهای داخلی مورد استفاده قرار می گیرد و برای ترانسفورماتورهای با قدرت کم، بکار نمی‌رود. مشخصه‌های فنی که برای این تجهیز باید در نظرگرفته شود، به شرح زیر است:

- مقادیر نامی ترانسفورماتورهای اندازه‌گیر (CT) (مشخصه فنی ترانسفورماتور اصلی)
- ولتاژ تغذیه
- مشخصات رله های خروجی (طبق مشخصات کلید قدرت ترانسفورماتور )
- اطلاعات کلی (زمان عمل و ریست) (از مطالعات هماهنگی حفاظتی)
- قدرت مصرفی
- درجه حرارت محیطی
- تست های عایقی و مکانیکی

### ۳-۱۲- مشخصات فنی رله توان معکوس:

رله توان معکوس یک تابع حفاظتی است که معمولاً به عنوان بخشی از یک رله مجتمع است و در موارد خاصی که ژنراتور اجازه تزریق توان به شبکه برق را ندارد و فقط بار محلی را تامین می نماید و یا برای حفاظت از موتوری شدن ژنراتور بکار می‌رود. مشخصه‌های فنی که برای این تجهیز در نظر گرفته می‌شود، به شرح زیر می‌باشد:

- جریان نامی (از مطالعات پخش بار)
- ولتاژ نامی (از مطالعات پخش بار)
- سطح تریپ (از مطالعات حفاظت)
- محدوده فرکانسی
- هیسترزیس
- قدرت مصرفی
- زمان ریست و عمل (از مطالعات پایداری گذرا و هماهنگی حفاظتی)
- نامی کنتاکت‌ها (طبق مشخصات کلید قدرت)
- محدوده درجه حرارت محیطی

- ملاحظات مکانیکی
- دقت
- تست دی‌الکتریک

### ۳-۱۳- مشخصات فنی رله‌های اضافه و زیر تحریک ژنراتور:

این تابع حفاظتی مربوط به حفاظت خود ژنراتور سنکرون است و معمولاً بخشی از سیستم حفاظتی مجتمع ژنراتور می باشد. مشخصه‌های فنی که برای این تجهیز درنظرگرفته می‌شود، عبارتند از:

- ولتاژ نامی (طبق مشخصه فنی ژنراتور)
- جریان ورودی *Sensing* (طبق مشخصه فنی ژنراتور)
- فرکانس نامی (۵۰ هرتز)
- قدرت مصرفی
- ظرفیت حرارتی اضافه بار (طبق مشخصه فنی ژنراتور)
- محدوده تنظیمات (طبق مشخصه فنی ژنراتور)
- زمان‌های عملکردی
- نامی کنتاکت (طبق مشخصات کلید قدرت)
- محدوده درجه‌حرارت محیطی
- تست‌های مکانیکی
- تست‌های الکتریکی

### ۳-۱۴- مشخصات فنی رله خطای زمین محدود شده (*R.E.F*):

این رله می تواند بصورت یک رله مستقل یا بخشی ازیک رله مجتمع باشد جهت حفاظت خطاهای اتصال کوتاه نامتقارن (مانند خطای تکفاز به زمین) بکار می‌رود. مشخصه‌های فنی این تجهیز به شرح زیر می‌باشد:

- ورودی‌های نامی اندازه‌گیر (از مطلعات اتصال کوتاه)
- ولتاژ عملکردی و پیوسته
- جریان در حین عملکرد و ظرفیت ایستادگی حرارتی (از مطلعات اتصال کوتاه)

- فرکانس نامی (۵۰ هرتز)
- زمان عمل (از مطلعات هماهنگی حفاظتی)
- نامی کنتاکت‌ها (طبق مشخصات کلید قدرت)
- تست‌های عایقی
- دمای محیطی مجاز و شرایط محیطی

### ۳-۱۵- مشخصات فنی رله اضافه جریان توالی منفی:

این تابع حفاظتی برای حفاظت ژنراتور در مقابل بار نامتعادل (مثلاً قطع شدن جریان یک فاز) مورد استفاده قرار می گیرد و معمولاً بخشی از رله حفاظتی مجتمع ژنراتور می باشد. مشخصه‌های فنی که برای این رله در نظرگرفته می‌شود، به شرح زیر است:

- نامی‌های مربوط به ترانسفورماتور جریان (CT) (مشخصه فنی ژنراتور)
- نامی کنتاکت‌ها (طبق مشخصات کلید قدرت)
- توابع جریان توالی منفی (مشخصه فنی ژنراتور)
- توابع زمانی جریان توالی فاز منفی برای تریپ و آلارم (مشخصه فنی ژنراتور)
- مشخصات منبع تغذیه و بارگذاری
- حساسیت و دقت
- تست‌های عایقی و مکانیکی
- شرایط محیطی
- ابعاد و وزن

### ۳-۱۶- مشخصه‌های رله اضافه ولتاژ توالی منفی:

این تابع حفاظتی برای حفاظت ژنراتور در مقابل ولتاژ نامتعادل مورد استفاده قرار می گیرد و معمولاً بخشی از رله حفاظتی مجتمع ژنراتور می باشد. مشخصه‌های فنی که برای این رله در نظرگرفته می‌شود، به شرح زیر می‌باشد:

- نامی ترانسفورماتور ولتاژ (مشخصه فنی ژنراتور)
- تابع عملکردی (مشخصه فنی ژنراتور)

- آپشن های منبع تغذیه
- نامی کنتاکت ها (طبق مشخصات کلید قدرت)
- تست های عایقی و ایستادگی
- مشخصات مکانیکی
- شرایط محیطی

### ۳-۱۷- مشخصات فنی رله اضافه جریان جهتی:

رله های اضافه جریان جهت دار با توجه به لزوم حفاظت شبکه (محدوده بین ژنراتور و پست بالادست) در مقابل اضافه جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشخصه‌هایی که برای این تجهیز درنظرگرفته می‌شود، به شرح زیر می‌باشد:

- قدرت مصرفی (از مطلعات پخش بار)
- جریان نامی (از مطلعات پخش بار و اتصال کوتاه)
- فرکانس (۵۰ هرتز)
- ولتاژ منبع تغذیه
- نامی کنتاکت (طبق مشخصات کلید قدرت)
- مقادیر نامی ترانسفورماتور جریان (از مطلعات پخش بار و اتصال کوتاه)
- مقادیر نامی ترانسفورماتور ولتاژ
- زمان عملکرد (از مطلعات پایداری گذرا و هماهنگی حفاظتی)
- دقت
- شرایط محیطی
- ابعاد و وزن
- تست های مکانیکی و عایقی

### ۳-۱۸- مشخصات فنی رله حفاظت اضافه بار استاتور:

همانطور که از نام آن پیداست این تابع حفاظتی برای حفاظت سیم پیچ استاتور ژنراتور در مقابل اضافه بار بکار می رود و معمولاً بخشی از یک رله مجتمع است. مشخصه‌های فنی که برای این تجهیز باید درنظرگرفته شود، به شرح زیر می‌باشد:

- کلاس دقت
- محدوده تنظیمات (مشخصه فنی ژنراتور)
- ولتاژ نامی عملکردی (مشخصه فنی ژنراتور)
- ولتاژ عایقی نامی
- فرکانس (۵۰ هرتز)
- محدوده جریان عملکردی (مشخصه فنی ژنراتور)
- رفتار حفاظتی (از مطالعات هماهنگی حفاظتی و مشخصه فنی ژنراتور)
- جریان نامی حرارتی (مشخصه فنی ژنراتور)
- جریان تریپ (مشخصه فنی ژنراتور)
- مشخصات فنی کنتاکت (طبق مشخصات کلید قدرت)
- مشخصات مدار قدرت
- مشخصات مدار کنترل
- ایستادگی آب و هوایی
- شرایط محیطی

### ۳-۱۹- مشخصات فنی رله قفل‌کننده:

این رله برای اطمینان از بسته نشدن کلید قدرت قبل از برطرف شدن عامل خطا بکار می رود و مشخصات فنی که برای این تجهیز درنظرگرفته می‌شود عبارت است از:

- ولتاژ نامی (از مطلعات پخش بار)
- جریان نامی (مشخصات فنی کلید)
- محدوده بهره‌برداری
- زمان‌های عملکردی
- نامی کنتاکت‌ها (طبق مشخصات کلید قدرت)
- تحمل جریان (طبق مشخصات کلید قدرت)
- استقامت دی‌الکتریک
- مشخصات مکانیکی
- تست‌های عایقی

- شرایطی محیطی

### ۳-۲۰- مشخصات رله تعادل ولتاژ:

با توجه به علل عدم تعادل ولتاژ می‌توان با در نظر گرفتن نیاز حفاظتی مربوطه از رله‌های حساس به عدم تعادل ولتاژ استفاده کرد. اگر ولتاژ فازهای شبکه نامتعادل باشد این رله اجازه اتصال ژنراتور به شبکه را نمی‌دهد. مشخصاتی که باید برای این رله در نظر گرفته شود به صورت زیر است:

- نامی ترانسفورماتور ولتاژ
- ولتاژ نامی
- محدوده فرکانسی
- قدرت مصرفی
- ظرفیت تحمل بار حرارتی
- محدوده کلیدزنی (دستورالعمل)
- محدوده مقایسه‌کننده
- فرکانس (۵۰ هرتز)
- نامی کنتاکت‌ها (طبق مشخصات کلید قدرت)
- زمان‌های عملکردی (پاسخ، تاخیر، تریپ، حداقل، زمان عمل ...)
- ظرفیت ایستادگی ضربه
- درجه‌حرارت مجاز برای نگه‌داری و درهنگام بهره‌برداری
- تست‌های عایقی و الکترومغناطیسی
- تست‌های مکانیکی
- استانداردهای طراحی
- عمر مکانیکی یا تعداد بهره‌برداری
- درجه حفاظتی

### ۳-۲۱- مشخصات فنی ترانسفورماتورهای جریان:

ترانسفورماتورهای جریان برای اتصال سیستمهای حفاظتی یا اندازه گیری به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای ترانسفورماتور جریان مشخصه‌های فنی زیر را در نظر می‌گیریم:

- نسبت تبدیل (از مطلعات پخش بار و اتصال کوتاه)
- کلاس حفاظتی
- جریان حرارتی و دینامیکی
- وزن
- قدرت نامی
- درجه حرارت بهره برداری و شرایط محیطی
- دسته عایقی
- رطوبت نسبی
- زمان پاسخ

### ۳-۲۲- مشخصات فنی ترانسفورماتور ولتاژ:

ترانسفورماتورهای ولتاژ برای اتصال سیستمهای حفاظتی یا اندازه گیری به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشخصات مهم یک ترانسفورماتور ولتاژ که در هنگام طراحی مورد توجه قرار می‌گیرد به شرح زیر است:

- بالاترین ولتاژ سیستم
- فرکانس نامی (۵۰ هرتز)
- نسبت تبدیل
- تیپ و کلاس
- ظرفیت خازنی بین اولیه و زمین
- فاصله خزشی
- حداکثر بار حرارتی
- سطح عایقی

### ۳-۲۳- مشخصات فنی آمپرمتر:

برخی از مشخصات فنی این دستگاه عبارتند از:

- محدوده اندازه‌گیری

- دقت اندازه‌گیری
- پاسخ زمانی
- نسبت ترانسفورماتور جریان (از مطلعات پخش بار و اتصال کوتاه)
- میزان دمای عملکرد
- محدوده فرکانسی
- ظرفیت اضافه بار
- اندازه ولتاژ تغذیه
- میزان مصرف داخلی
- دمای بهره‌برداری
- رطوبت نسبی
- بیشترین مصرف ترانسفورماتور جریان
- کلاس عایقی
- مقاومت عایقی
- ولتاژ عایقی نامی
- محدوده دمای بهره‌برداری و میزان رطوبت نسبی

### ۳-۲۴- مشخصات فنی ولت‌متر:

مشخصات فنی که باید برای ولت‌مترها درنظرگرفته شود، به شرح زیر می‌باشد:

- محدوده اندازه‌گیری
- حفاظت اضافه ولتاژ
- مقاومت ورودی
- محدوده فرکانسی
- دقت اندازه‌گیری
- میزان مصرف داخلی
- کلاس عایقی
- نسبت ترانسفورماتور ولتاژ

- کلاس عایقی
- مقاومت عایقی
- ولتاژ عایقی نامی
- محدوده دمای بهره‌برداری و میزان رطوبت نسبی

### ۳-۲۵- مشخصات فنی واتمتر:

برخی از مشخصات فنی که برای این تجهیز بایستی در نظر گرفته شود عبارتند از:

- میزان ولتاژ نامی ورودی به واتمتر (از مطلعات پخش بار)
- محدوده میزان ولتاژ نامی ورودی
- میزان جریان نامی ورودی (از مطلعات پخش بار)
- محدوده میزان جریان نامی ورودی
- فرکانس (۵۰ هرتز)
- ضریب توان
- ولتاژ تغذیه ورودی
- دقت اندازه‌گیری (۰/۵)
- مدار حفاظتی اضافه بار
- میزان بارگذاری در هر فاز
- پاسخ زمانی
- ظرفیت اضافه بار
- میزان توان مصرفی
- کلاس عایقی
- مقاومت عایقی
- دمای محیط
- دمای بهره‌برداری
- رطوبت نسبی
- ولتاژ عایقی نامی

- ظرفیت اضافه بار در حالت دائم و گذرا

### ۳-۲۶- مشخصات فنی وارمتر:

برخی از مشخصات فنی که برای این تجهیز بایستی در نظر گرفته شود عبارتند از:

- محدوده ولتاژی
- محدوده جریانی
- میزان دقت اندازه‌گیری (۰/۵)
- ضریب توان
- نوع ورودی‌های دستگاه
- میزان بارگذاری ورودی
- محدوده فرکانس ورودی
- پاسخ زمانی
- بیشترین اضافه ظرفیت ورودی
- توان مصرفی
- دمای شرایط کار و محفظه
- میزان رطوبت
- نسبت $CT$ و $VT$
- کلاس حفاظتی
- ولتاژ تغذیه ورودی
- مقاومت عایقی
- ضربه

### ۳-۲۷- مشخصات فنی فرکانس‌متر:

مشخصات فنی که برای این تجهیز درنظرگرفته می‌شود، به شرح زیر است:

- محدوده فرکانس ورودی ؟؟؟
- ولتاژ نامی (پخش بار)

- ولتاژ عملکرد
- ولتاژ ورودی
- ولتاژ تست
- بارگذاری
- دقت اندازه‌گیری (۰/۵)
- زمان نمونه‌برداری
- درجه حفاظت
- اندازه مقاومت ورودی
- اندازه ولتاژ تغذیه
- مصرف داخلی
- محدوده دمایی بهره‌برداری
- مقاومت دی الکتریک

### ۳-۲۸- مشخصات فنی کسینوس فی‌متر:

مشخصات فنی که برای این تجهیز درنظرگرفته می‌شود، به شرح زیر است:

- محدوه اندازه‌گیری
- فرکانس نامی (۵۰ هرتز)
- اندازه جریان (پخش بار)
- محدوده ولتاژ مجاز (پخش بار)
- ولتاژ تغذیه
- فرکانس تغذیه (۵۰ هرتز)
- توان مصرفی
- دوره نمونه‌برداری
- پاسخ زمانی
- ورودی
- مقاومت عایقی

- مقاومت دی الکتریک
- محدوده دمای محیط
- محدوده دمای محفظه

### ۳-۲۹- مشخصات فنی ترانسفرتریپ :

رله ترانسفر تریپ که در پست مربوطه نصب می شود با استفاده از سیگنال مخابراتی و تله‌متری فرمان‌های لازم را به کلید یا کلیدهای مربوطه ارسال می‌نماید. مشخصات فنی که برای این تجهیز باید در نظرگرفته شود، به صورت زیر است:

- جریان ورودی و خروجی فرستنده (مشخصه کلید قدرت)
- جریان ورودی و خروجی گیرنده
- قدرت ورودی فرستنده
- مقاومت خط بین فرستنده و گیرنده
- شرایط محیطی
- تست‌های دی‌الکتریک

### ۳-۳۰- مشخصات فنی پایانه‌های راه دور (RTU) :

پایانه راه دور یکی از تجهیزات مورد نیاز جهت انتقال اطلاعات می باشد. مشخصه‌های مهم پایانه‌های راه دور، به شرح زیر می‌باشد:

- قدرت مصرفی
- داده خروجی
- دقت
- ضریب حرارتی
- مشخصات فیزیکی
- مشخصات محیطی
- مدار کنترل
- قدرت تشخیص

مشخصات فوق به فاصله محل نصب بستگی دارد و حسب مورد تعیین می‌شود.

### ۳-۳۱- مشخصات فنی تجهیزات ارتباطی مستقر در هر ایستگاه

تجهیزات ارتباطی(تله متری) وظیفه انتقال اطلاعات از محل نقطه اتصال به شبکه تا مرکز کنترل شبکه را به عهده دارند. مهمترین مشخصه‌هایی که برای این تجهیزات در نظر گرفته می‌شود، به شرح زیر می‌باشد:

- رنج فرکانسی
- قابلیت انتخاب کانال
- فضای کانال
- حساسیت
- قابلیت انتخاب
- دارا بودن پورت های مختلف ارتباطی شامل پورت اترنت، سیستم، پورت‌های سریال و ...
- امنیت
- مودهای مختلف عملکردی شامل مود اصلی یا مود تکرارکننده

### ۳-۳۲- مشخصات فنی ترانسدیوسر :

ترانسدیوسر وظیفه تبدیل یک کمیت مانند ولتاژ، جریان، توان و .... به سیگنال قابل انتقال از طریق تجهیزات مخابراتی را به عهده دارد. مهمترین مشخصه‌هایی این تجهیز عبارتند از:

- ولتاژ و جریان ورودی
- محدوده فرکانسی
- بارگذاری
- دقت خروجی (۰/۵)
- زمان پاسخ
- ریپل خروجی
- محدوده درجه حرارت

میزان دقت خروجی تجهیزات اندازه‌گیری و ترانسدیوسرها ۰/۵ و در مواردی که مربوط به کنتور است ۰/۲ است.

# پیوست الف

## الف-۱- تجهیزات جانبی به تفکیک عملکرد

| تجهیزات کنترل و کلیدزنی | تجهیزات حفاظت | تجهیزات اندازه‌گیری | تجهیزات مانیتورینگ و اتوماسیون |
|---|---|---|---|
| کلید قدرت | رله سنکرون‌چک (۲۵) | کنتورها و دستگاههای اندازه‌گیری | انتقال تریپ |
| سکسیونر | رله‌های فرکانسی (۸۱) | ترانس جریان/ ولتاژ (*CT/PT*) | پایانه‌های راه دور (*RTU*) |
| ریکلوزر | رله‌های ولتاژ (۲۷/۵۹) | | ترانسدیوسر |
| *AVR* | رله اضافه جریان/ ولتاژ توالی منفی (۴۶/۴۷) | | مارشالینگ رَک |
| گاورنر | رله دیفرانسیل ژنراتور (*۸۷G*) | | تجهیزات تله‌متری |
| | رله دیفرانسیل ژنراتور (*۸۷T*) | | |
| | رله اندازه‌گیری زاویه فاز (۷۸) | | |
| | رله حفاظت امپدانسی (دیستانس) (۲۱) | | |
| | رله حفاظت تحریک (۲۴/۴۰) | | |
| | رله افت ولتاژ هارمونیک سوم نوترال (*۲۷TN/۵۹TN*) | | |
| | رله توان معکوس (۳۲) | | |
| | حفاظت اضافه بار استاتور (۴۹) | | |
| | رله اضافه جریان آنی و تاخیر زمانی (۵۰/۵۱) | | |
| | حفاظت اضافه جریان زمین آنی و تاخیر زمانی (*۵۰N/۵۱N*) | | |
| | حفاظت تعادل ولتاژ/جریان (۶۰) | | |
| | حفاظت اضافه جریان جهتدار (۶۷) | | |
| | رله قفل (لاک اوت) (۸۶) | | |
| | حفاظت *REF* (*۸۷N*) | | |
| | رله کمکی قطع (*Trip*) (۹۴) | | |
| | رله قطع مکانیکی (۹۴-*mech*) | | |

**الف-۲- شماره رله‌ها مطابق استاندارد** ANSI/IEEE (IEEE Standard C۳۷.۲)

| عملکرد | شماره رله | عملکرد | شماره رله |
|---|---|---|---|
| رله تعادل ولتاژ یا از دست رفتن تغذیه | ۶۰ | رله تأخیر زمانی وصل یا شروع به کار | ۲ |
| رله زمین‌شدن میدان[۱] | ۶۴F | رله دیستانس | ۲۱ |
| رله اضافه ولتاژ زمین ژنراتور[۲] | ۶۴B | رله ولت بر هرتز | ۲۴ |
| حفاظت ۱۰۰٪ زمین‌شدن استاتور با تزریق فرکانس پایین[۳] | ۶۴S | رله سنکرون چک | ۲۵ |
| رله اضافه‌جریان جهت‌دار AC | ۶۷ | رله افت ولتاژ | ۲۷ |
| رله خروج از گام[۴] | ۶۸ | رله افت ولتاژ هارمونیک سوم نوترال | ۲۷TN |
| رله آلارم | ۷۴ | رله توان معکوس یا توان جهتدار | ۳۲ |
| رله اضافه جریان DC | ۷۶ | رله افت جریان یا افت توان | ۳۷ |
| رله اندازه‌گیری زاویه فاز | ۷۸ | رله حذف تحریک (از دست رفتن تحریک) | ۴۰ |
| رله فرکانسی | ۸۱ | رله اضافه جریان توالی منفی | ۴۶ |
| رله نرخ تغییرات فرکانس | ۸۱R | رله اضافه ولتاژ توالی منفی | ۴۷ |
| کنترل انتخابی اتوماتیک یا رله انتقالی[۵] | ۸۳ | رله حرارتی ماشین یا ترانسفورماتور | ۴۹ |
| رله حامل یا سیم پایلوت[۶] | ۸۵ | رله اضافه جریان آنی | ۵۰ |
| رله قفل (lock out) | ۸۶ | رله دیفرانسیلی قطع فاز[۷] | ۵۰DT |
| رله دیفرانسیل | ۸۷ | تحریک غیرعمدی[۸] | ۵۰/۲۷ |
| رله کمکی تریپ | ۹۴ | رله خرابی بریکر فاز | ۵۰BF |
| رله اضافه ولتاژ | ۵۹ | رله اضافه جریان معکوس زمانی AC[۹] | ۵۱ |

[۱] Field Ground Relay
[۲] Generator ground over voltage relay
[۳] Low Frequency Injection
[۴] Out of step relay
[۵] Transfer relay
[۶] Carrier or Pilot-wire Relay
[۷] Split Phase Differential
[۸] Inadvertent generator energization
[۹] AC Inverse Time Overcurrent Relay