دوره آموزشی

حفاظت ژنراتور

مدرس : مهندس محمّد حیدری

دی ماه ۱۳۸۸

فهرست صفحه

سرفصل دوره:

۱- مقدمه ۲
۲- انواع رله های حفاظتی و نحوه عملکرد آن ها ۱۵
۳- شناخت اتصالی ها در ژنراتور ۲۱
۴- حفاظت ژنراتور در قبال خطاهای سیم پیچ استاتور ۲۴
۵- حفاظت پیشنهاد شده برای ژنراتورهای الکتریکی سنکرون ۸۰
۶- منابع و مؤاخذ ۹۷

۱- مقدمه

۱-۱- انواع تجهیزات سیستم قدرت

۱. خطوط انتقال هوایی
۲. کابل های زیر زمینی
۳. ژنراتورها
۴. ترانسفورماتورهای قدرت
۵. ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ
۶. الکتروموتورها
۷. دیژنکتورها
۸. باسبارها (شین ها)
۹. خازن ها

۱-۲- بررسی عوامل خطا درسیستم های قدرت الکتریکی وروش های کاهش آنها

۱-۲-۱- خطای الکتریکی

انحراف جریان الکتریکی از مسیر اصلی آن را خطای الکتریکی گویند.

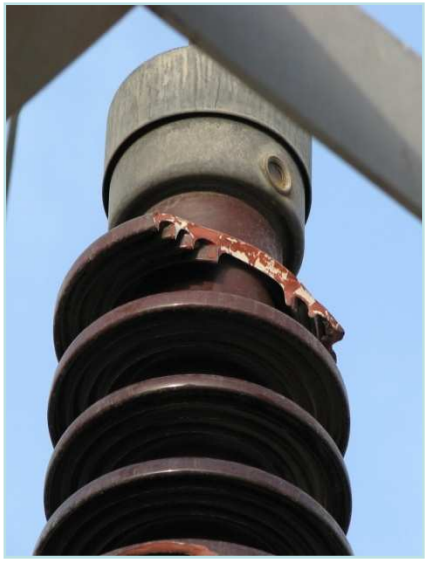
۱-۲-۲- انواع خطای الکتریکی

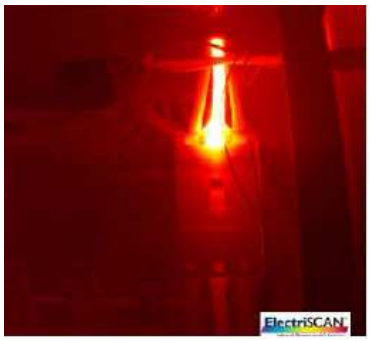
۱. اتصال کوتاه
۲. اتصال زمین
۳. پارگی و قطع شدگی هادی ها
۴. خرد شدن و شکستن عایق ها

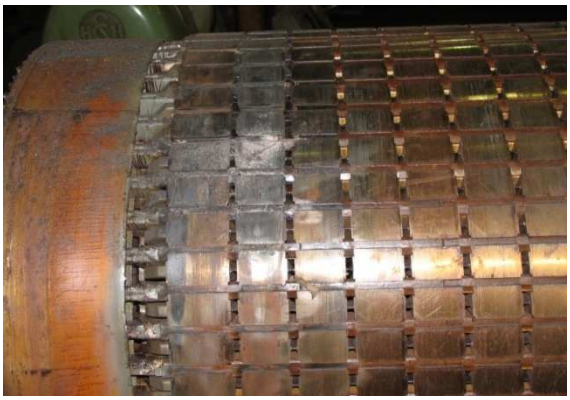
۱-۲-۳- عوامل خطای الکتریکی

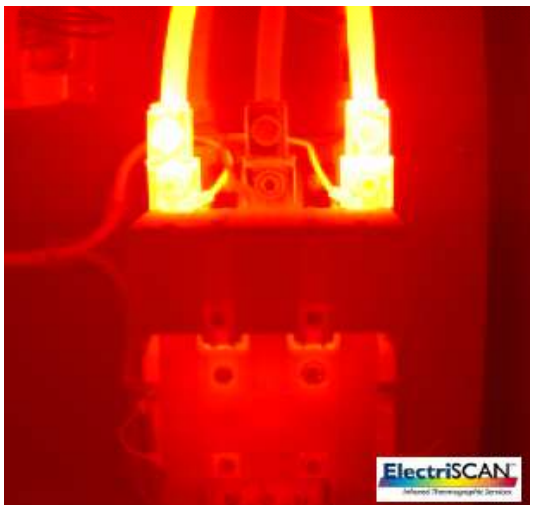
۱. نقصان عایق بندی
۲. ازدیاد بیش از حد مجاز درجه حرارت
۳. کاهش استقامت الکتریکی ، دینامیکی و مکانیکی در مقابل فشارهای ضربه ای

BBC




ElectriSCAN

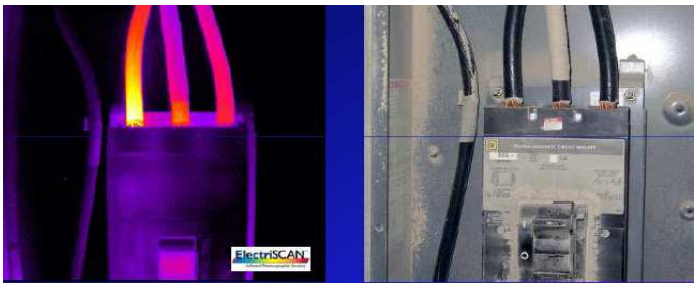



ElectriSCAN

ElectriSCAN

28 1 2007

ElectriSCAN


ElectriSCAN

۱-۲-۴- علّت اتصال سیستم ها وتجهیزات الکتریکی و درصد کل اتصال

نوع تجهیزات	علل اتصال	درصد اتصال
خطوط انتقال هوایی	۱- رعد وبرق ۲- طوفان ، زمین لرزه ، یخبندان ۳- پرندگان ،درختان ، هواپیما ۴- وسایل نقلیه ی زمینی ۵- اضافه ولتاژهای داخلی	(۴۰-۳۰)درصد
کابل زیر زمینی	۱- موقع کندن زمین ۲- از بین رفتن عایق بخاطر افزایش درجه حرارت ۳- از بین رفتن اتصالات ۴- اضافه ولتاژهای داخلی	(۱۰-۸) درصد
ژنراتور	۱- اتصال در استاتور(اتصال کوتاه در سیم پیچی یک فاز یا اتصال حلقه ، اتصال کوتاه دو فاز ، اتصال بدنه و قطع سیم پیچی یک فاز) ۲- اتصال در روتور(قطع سیم پیچی تحریک ، اتصال بدنه تک ، اتصال بدنه دوبل و اتصال حلقه) ۳- شرایط غیر عادی (بار زیاد ، بار نامتعادل ، پارالل به هنگام عدم برقراری شرایط و پاندولی شدن) ۴- اتصال در تجهیزات وا بسته (سیستم های تهویه ، سیستم های کنترل مانند تنظیم کننده ی ولتاژ یآ AVR ، گاورنر و توربین) ۵- اتصال در سیستم های حفاظتی	(۸-۶) درصد
ترانسفورماتورها	۱- از بین رفتن عایق ۲- اتصال در تپ چنجر ۳- خطای بوشینگ ۴- خطا در مدار حفاظت ۵- حفاظت نامناسب ۶- اضافه ولتاژ ۷- اضافه بار	(۱۲-۱۰) درصد
ترانسفورماتور های PT & CT	۱- اضافه ولتاژ ۲- از بین رفتن عایق ۳- شکستن هادی ها ۴- اتصالات غلط	(۲۰-۱۰) درصد
دیژنکتورها	۱- از بین رفتن عایق ۲- نقص مکانیکی ۳- نشتی روغن ، هوا ، گاز ۴- انتخاب قدرت نامناسب ۵- عدم تعمیرات	(۱۲- ۱۰) درصد

۱-۲-۵- پیامدهای ناشی از خطای الکتریکی در سیستم قدرت الکتریکی

۱. جریان ها بطور غیر عادی زیاد شده و درجه حرارت سیستم بالا می رود.
۲. معمولاً جرقه برقرار شده و در نتیجه درجه حرارت بالا رفته و گاهی منجر به آتش سوزی می شود.
۳. ولتاژ نقاط مختلف سیستم بطور غیر قابل قبولی کم و زیاد می شود.
۴. ممکن است حالت نامتقارن در سیستم قدرت الکتریکی بوجود آید و لوازم سه فاز بخوبی کار نکنند.
۵. احتمال دارد سیستم قدرت ناپایدار گردد.

۱-۲-۶- روش های کاهش خطای الکتریکی در سیستم قدرت الکتریکی

۱. استفاده از عناصر سیستم قدرت با کیفیت بالاتر
۲. استفاده از سیستم حفاظتی مطمئن و مناسب
۳. انتخاب صحیح تجهیزات و محوطه
۴. بهره برداری بهینه از عناصر سیستم قدرت الکتریکی
۵. انجام اصلاحات در سیستم های قدرت الکتریکی
۶. سرویس و نگهداری دقیق و منظم توسط پرسنل آموزش دیده
۷. استفاده از افراد مجرب و کارآزموده برای مدیریت و بهره برداری سیستم های قدرت الکتریکی

۱-۳- سیستم های حفاظتی و وظائف آنها

سیستم های حفاظتی از اجزای مختلفی تشکیل شده و کار گروهی و هماهنگ آنها ، سبب عملکرد صحیح سیستم حفاظتی می شود.

۱-۳-۱- اجزای سیستم حفاظتی مطمئن عبارتند از :

۱. ترانسفورماتورهای جریان
۲. ترانسفورماتورهای ولتاژ
۳. رله های سنجشی جریان ، ولتاژ ، توان و ....
۴. رله زمانی
۵. رله کمکی
۶. مدارات قطع (Tripping circuit)
۷. بوبین قطع (Tripping coil)
۸. دیژنکتور
۹. منبع تغذیه DC
۱۰. سیستم آلارم

۱-۳-۲- وظایف یک سیستم حفاظتی مطمئن عبارت است از:

۱. بلافاصله نوع عیب و محل آن را تشخیص داده و قسمت معیوب را از بقیه سیستم جدا کند.

۲. سیستم حفاظتی باید در یک زمان خیلی کوتاه عمل کند تا شدت خرابی محدود شود.

۳. سیستم حفاظتی باید طوری طرح ریزی شود که در زمان تغییر و اصلاحات ، نیاز به تعویض کلیه لوازم حفاظتی نباشد.

۴. ضمن سنجش شدت خطا ، وسایل خبری را آماده کند.

۵. نسبت به نوسانات جریان ، ولتاژ و قدرت الکتریکی حساس نباشد.

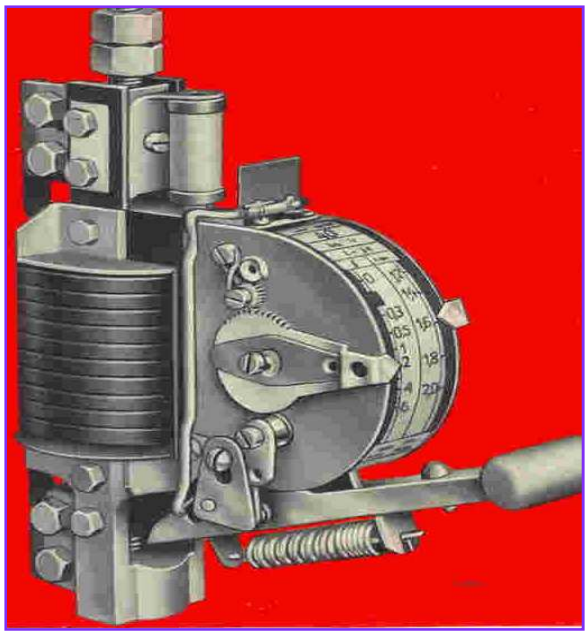
۶. در استفاده از رله های حفاظتی ، نه فقط کار آنها ، بلکه مسئله از نظر اقتصادی مد نظر قرار گیرد.

۷. در زمانی که خطای الکتریکی و عیوب در سیستم قدرت الکتریکی ، خود بخود برطرف شود، بایستی فوراً مدار را به وضعیت اولیه برگرداند.

۱-۳-۳- انواع رله ها از نظر قرار گرفتن آنها در شبکه

در شکل(۱-۱) یک دستگاه رله ی پریمری یا اولیه که شامل رله های زمانی و لحظه ای است و از جریان الکتریکی شبکه تغذیه می کند ، مشاهده می شود.

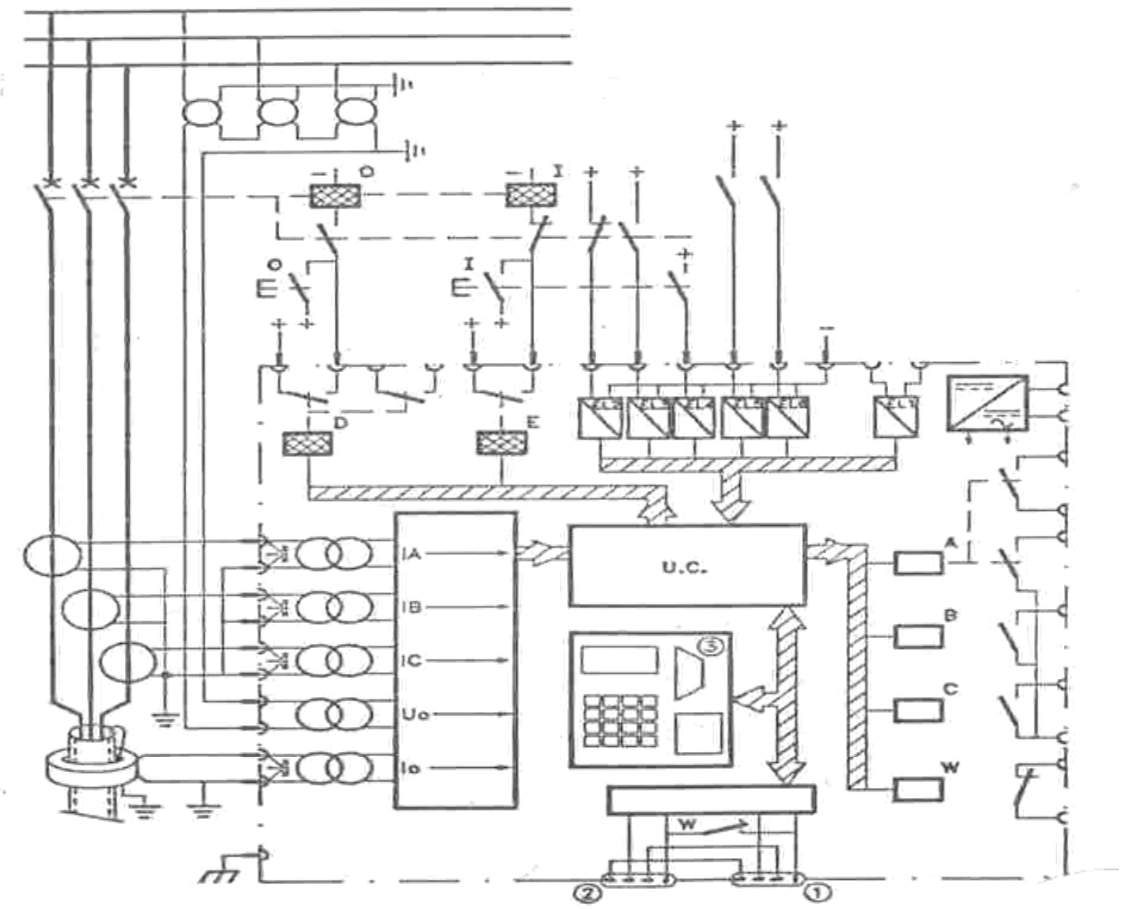
شکل (۱-۲) چهار دستگاه رله مشاهده می شود. چون این رله ها از طریق ثانویه ترانسفورماتورهای جریان ، ولتاژ و یا هر دو به شبکه متصل می شوند به آنها رله های ثانویه گفته می شود.



شکل (۱-۱)

شکل (۱-۲)

شکل (۱-۳) یک رله ی ثانویه را نشان می دهد که توسط **CT** و **PT** به شبکه اتصال دارد.



شکل (۱-۳)

۱-۳-۴- عوامل تحریک رله های حفاظتی

۱. جریان الکتریکی (دامنه جریان ، جهت جریان ، جمع برداری و اختلاف جریان)
۲. ولتاژ (دامنه ولتاژ، جمع برداری و اختلاف ولتاژ)
۳. توان یا قدرت الکتریکی
۴. فرکانس
۵. امپدانس
۶. دما
۷. سطح سیال
۸. سرعت سیال
۹. فشار سیال
۱۰. لرزش یا ویبراسیون

۱- ۳-۵- رله ی حفاظتی چیست

رله دستگاهی است که به شرایط غیر عادی سیستم قدرت الکتریکی پاسخ گفته و در اثر تغییر کمیت الکتریکی یا فیزیکی مشخص شروع به کارکند.

۱-۳-۶- انواع رله های حفاظتی از نظر ساختمان

۱. الکترومغناطیسی
۲. آهنربایی
۳. الکترودینامیکی
۴. اندکسیونی
۵. حرارتی
۶. استاتیکی (الکترونیکی)
۷. میکروپروسسوری (دیجیتالی)

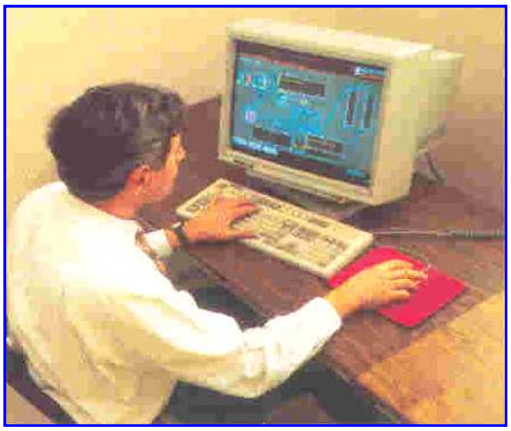
۱-۳-۷- انواع رله های حفاظتی از نظر کاربرد

۱. جریان زیاد
۲. جریان کم
۳. جریان زیاد جهتی
۴. دیفرانسیل
۵. دیستانس

۱-۳-۸- خصوصیات رله های حفاظتی

۱. قابلیت اطمینان
۲. قابلیت انتخاب یا تشخیص
۳. حساسیت
۴. سرعت
۵. آنی و لحظه ای بودن
۶. کنترل
۷. هماهنگی

رله های حفاظتی مانند دو شکل (۱-۴) قابل تست و تنظیم هستند.



شکل(۱-۴)

۱-۴- شماره گذاری رله های حفاظتی و المان های برقی بر اساس کد ANSI

۱	المان اصلی یا اولیه (Master Element)
۲	رله ی زمانی ،تأخیر در شروع یا بستن رله Time Delay Starting or Closing Relay
۳	رله ی تطبیقی جهت سیستم کنترل بهم پیوسته Ckecking or Interlock Relay
۴	کنتاکتور اصلی (Master contactor)
۵	وسیله ی متوقف کننده (Stopping Device)
۶	کلید اتوماتیک برق دستگاه (Start Circuit Breaker)
۷	کلید اتوماتیک مدار مثبت جریان مستقیم (Anode Circuit Breaker)
۸	کلید قطع مدار کنترل (Control Power Disconnecting Device)
۹	وسیله ی معکوس کننده ی جهت گردش ماشین (Reversing Device)
۱۰	کلید تعویض کننده ی ترتیب کار (Unit Sequency Switch)
۱۱	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)
۱۲	کنترل کننده ی سرعت زیاد (Over Speed Device)
۱۳	کنترل کننده تطبیق سرعت (Synchrounous Speed Device)
۱۴	کنترل کننده ی سرعت کم (Under Speed device)

۱۵	وسیله یکسان کننده سرعت یا فرکانس (Speed 0r Frequency Matching Device)
۱۶	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)
۱۷	کلید قطع و وصل (Switching or Discharge Switch)
۱۸	وسیله تغییر شتاب (Accelerating or Decelerating Device)
۱۹	کنتاکتور واسطه بین شروع و کار معمولی (Starting To Running Transition Control)
۲۰	شیر الکتریکی (Electrically Operated Valve)
۲۱	رله مسافت (Distance Relay)
۲۲	کلید اتوماتیک تعدیل کننده (Equalizer Circuit Breaker)
۲۳	وسیله کنترل درجه حرارت (Temperature Control Device)
۲۴	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)
۲۵	وسیله سنکرون کردن (Synchronizing or Synchronism Check Device)
۲۶	وسیله کنترل درجه حرارت کم و زیاد (Appratus Thermal Device)
۲۷	رله ولتاژ کم(Under Voltage Relay)
۲۸	وسیله آشکار کننده ی شعله (Flame Detector)

۴- شماره گذاری رله های حفاظتی و المان های برقی بر اساس کد ANSI

۲۹	کنتاکتور جداکننده (Isolated Contactor)
۳۰	رله خبردهنده (خبر نوری) (Anunciator Relay)
۳۱	وصل کننده مدار تحریک مجزا (Separate Excitation Device)
۳۲	رله ی قدرت معکوس (Reverse Power Relay)
۳۳	کلید کنترل وضعیت (Position Switch)
۳۴	کلید موتوری جهت تنظیم مراحل کار دستگاه (Motor operated Sequency S witch)
۳۵	دستگاه بردارنده زغال و اتصال کوتاه کننده ی مدار (Brsh operated or slip ring Short Circuiting Device)
۳۶	وسیله ی جلوگیری از جابجایی قطب ها یا فازها (Polarity Device)
۳۷	رله جریان یا قدرت کم (Under Current or Under Power Relay)
۳۸	وسیله ی حفاظت یاتاقان (Bearing Protective Device)
۳۹	دستگاه کنترل شرایط مکانیکی(Mechanical Condition Monitor)
۴۰	رله میدان الکتریکی (قطع یا کاهش جریان میدان) (Field Relay)
۴۱	کلید اتوماتیک میدان الکتریکی (Field Circuit Breaker)
۴۲	کلید کار معمولی ماشین (Running Circuit Breaker)

۴۳	وسیله ی دستی انتخاب وضعیت (Manual Transfer or Selector Device)
۴۴	رله ی مراحل شروع کار ترتیبی واحد (Unit Squense Starting Relay)
۴۵	کنترل کننده ی شرایط جوی (Athomospheric Condition Monitor)
۴۶	رله تغییر فاز و عدم تعادل جریان (Reverse Phase or Phase Balance Current Relay)
۴۷	رله ولتاژ ترتیب و فاز (Phase Squence Voltage)
۴۸	رله ناتمام بودن عملیات ترتیبی (Incomplete Sequence Relay)
۴۹	رله حرارتی جهت ترانسفورماتور یا ماشین (Machine or Transformator Thermal Relay)
۵۰	رله لحظه ای جریان زیاد (Instantaneous Overcurrent or Rate of Rise Relay)
۵۱	رله زمانی جریان زیاد متناوب (AC Time Overcurrent Relay)
۵۲	کلید اتوماتیک قطع جریان متناوب (AC Cicuit Breaker)
۵۳	رله مربوط به تحریک کننده یا مولد جریان مستقیم (Exciter or DC Generator Relay)
۵۴	کلید اتوماتیک قطع سریع جریان مستقیم (High Speed DC Circuit Breaker)
۵۵	رله ضریب قدرت (Power Factor Relay)
۵۶	رله کنترل میدان الکتریکی (Field Application Relay)

۵۷	دستگاه حفاظتی جریان خطا (اتصال کوتاه و اتصال زمین) (Short Circuiting or Grounding Device)
۵۸	رله ی قطع تحریک یکسو کننده ی قدرت (Power Rectifire Misfire Relay)
۵۹	رله ولتاژ زیاد (Overvoltage Relay)
۶۰	رله اختلاف ولتاژ بین دو مدار (Voltage Balance Relay)
۶۱	رله اختلاف جریان بین دو مدار (Current Balance Relay)
۶۲	رله تأخیری در قطع (Time Delay Stopping or Oenning Relay)
۶۳	رله مربوط به فشار ، جریان ، ارتفاع جهت گاز یا مایع (Liquid or Gas Pressure , Level , or Flow Relay)
۶۴	رله حفاظت از اتصال زمین (Ground Protective Relay)
۶۵	تنظیم کننده ی دور (گاورنر) (Governor)
۶۶	وسیله ی کنترل تعداد اعمال (Notching or Jogging Device)
۶۷	رله زمانی جریان زیاد جهت دار متناوب (AC Directional Overcurrent Relay)
۶۸	رله ی محدود کننده (Blocking Relay)
۶۹	کلید دو حالته دستی جهت امکان قطع و وصل یا کلید اتوماتیک (Permissive Control Device)
۷۰	مقاومت متغییر بوسیله ی موتور (رئوستات) (Electrically 0perated Reostat)
۷۱	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)
۷۲	قطع کننده ی اتوماتیک جریان مستقیم (DC Circuit Breaker)

۴- شماره گذاری رله های حفاظتی و المان های برقی بر اساس کد ANSI

۷۳	کنتاکتور بار مقاومتی (Load Resistor Contactor)
۷۴	رله خبری (سمعی و بصری) (Alarm Relay)
۷۵	وسیله ی تغییر وضعیت (کلید اتوماتیک) (Position Changing Mechanism)
۷۶	رله زمانی جریان زیاد مستقیم (DC Overcurrent Relay)
۷۷	مولد فرستنده ی پالس (Pulse Transmiter)
۷۸	رله حفاظتی اختلاف فاز (Phase Angle Measuring or out of Step Protective Relay)
۷۹	رله اتوماتیک اتصال مجدد جریان متناوب (AC Reclosing Relay)
۸۰	(رزرو).....(Reserved For Future Application)
۸۱	رله فرکانس کم یا زیاد (Frequency Relay)
۸۲	رله اتوماتیک اتصال مجدد جریان مستقیم (DC Reclosing Relay)
۸۳	رله اتوماتیک انتخاب یا تبدیل وضعیت (Automatic Selective Control or Transfer Relay)
۸۴	مکانیسم عمل (Operating Mechanism)
۸۵	رله فرستنده و گیرنده ی علائم سیگنال (Carrier or Pilot Wire Reciever Relay)
۸۶	رله قفل کننده (Locking out Relay)

۴- شماره گذاری رله های حفاظتی و المان های برقی بر اساس کد ANSI

۸۷	رله حفاظت مقایسه ای (Differential Protective Relay)
۸۸	موتور کمکی – موتور ژنراتور (Auxiliary Motor or M0tor Generator)
۸۹	کلید خط سکسیونر (برق متناوب یا مستقیم) (Line Switch)
۹۰	وسیله ی تنظیم کمیت (Regulating Device)
۹۱	رله ولتاژ جهت دار (Voltage Directional Relay)
۹۲	رله ولتاژ و قدرت جهت دار (Voltage And Power Directional Relay)
۹۳	کنتاکتور تغییر میدان کمکی (Field Changing Contactor)
۹۴	رله قطع کننده ی کلید اتوماتیک (Trpping or Trip Free Relay)
۹۵	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)
۹۶	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)
۹۷	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)
۹۸	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)
۹۹	.....(رزرو) (Reserved For Future Application)

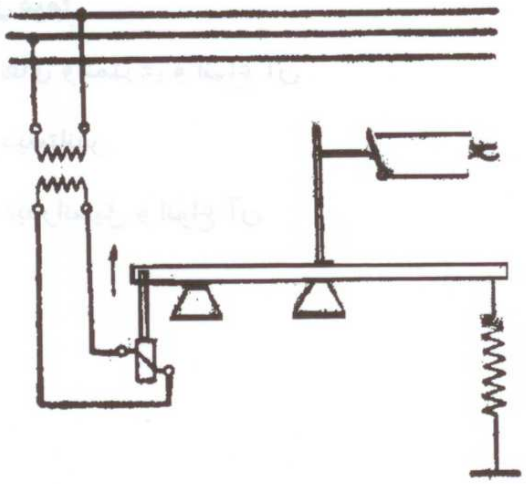
۲- انواع رله های حفاظتی و نحوه عملکرد آن ها

۲-۱- رله های ولت متری

در شبکه ها و مدارهای الکتریکی اغلب ممکن است افت ولتاژ و یا ازدیاد ولتاژ صورت گیرد که برای دستگاههای الکتریکی زیان آور است. بنابراین باید دستگاههای الکتریکی را در مقابل این تغییرات ولتاژ حفاظت نمود . این حفاظت بوسیله رله های افت ولتاژ و رله های ازدیاد ولتاژ تأمین میشود.

۲-۱-۱- رله افت ولتاژ

این نوع رله که در شکل (۲) نشان داده شده است شبیه رله های جریانی است و اغلب بصورت رله الکترومغناطیسی ساخته میشود. در رله افت ولتاژ، هسته آهن رله تا موقعی که ولتاژ از حد مجاز و معینی کمتر نشده باشد بحالت جذب باقی میماند و به محض افت ولتاژ، رها و سبب بستن کنتاکتی میشود که به مدار فرمان متصل است . این رله معمولاً به محض رسیدن به ۷۰٪ ولتاژ نامی شروع بکار میکند .



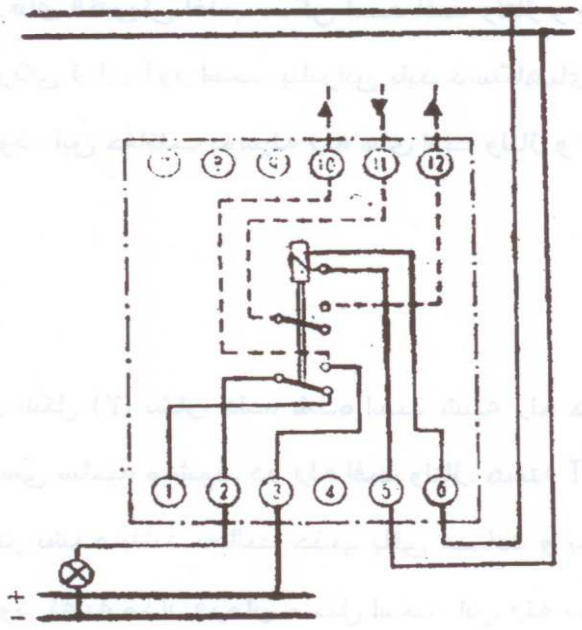
شکل(۲)

۲- انواع رله های حفاظتی و نحوه عملکرد آن ها

۲-۱-۱-۱- رله افت ولتاژ برای جریان دائم

شکل (۳) مدار فرمان یک رله افت ولتاژ را برای شبکه جریان دائم نشان میدهد . این رله اغلب برای بکار انداختن دستگاه آلارم (سیگنال) و یا قطع کلید در موقع افت ولتاژ شبکه از مقدار از قبل تنظیم شده، مورد استفاده قرار میگیرد.

رها شدن هسته آهن رله توسط نیروی فنر مکانیکی انجام می شود .

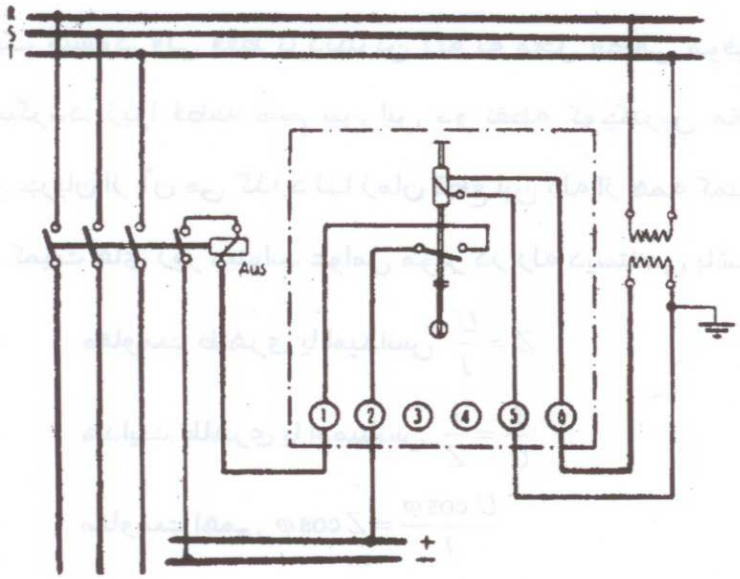


شکل(۳)

۲-۱-۱-۲- رله افت ولتاژ برای جریان متناوب

شکل (٤) مدار یک رله افت ولتاژ برای جریان متناوب را نشان می دهد .همانطور که مشاهده میشود، قطع کننده توسط جریان DC از یک مدار فرعی تغذیه میشود .

در این مدار عمل رله توسط یک نشان دهنده نمایان میگردد و برای موقعی که بعنوان رله با تأخیر یا رله زمانی مورد استفاده قرار میگیرد لازم است که به یک عضو زمانی نیز مجهز باشد.



شکل(٤)

۲-۱-۲- رله ازدیاد ولتاژ

عضو سنجشی این رله شبیه رله جریان زیاد است با این تفاوت که بوبین این رله بر روی ولتاژ بسته میشود. معمولاً رله ثانویه آن که ولتاژ نامی آن برابر ولتاژ نامی ترانسفورماتور ولتاژ یعنی 100 v است مورد استعمال زیادی دارد .

۲-۲- رله دیستانس

رله دیستانس یک رله حفاظتی است که زمان قطع آن تابع مقاومت طول سیم میباشد . در اغلب اوقات باید زمان قطع رله تابع محل اتصال کوتاه نسبت به رله باشد و از این جهت باید زمان قطع رله، تابع جهت معینی از انرژی اتصال کوتاه نیز شود . همانطور که می دانیم هر چه محل اتصال کوتاه از رله دورتر باشد، مقاومت ظاهری قطعه سیم بین محل اتصالی تا رله بزرگتر شده و در نتیجه مقاومت اهمی و غیر آهنی آن نیز بزرگتر میگردد.از آنجاکه در رشد تأسیسات

برقی رابطه مستقیمی بین مقاومت و طول سیم وجود دارد لذا با استفاده از رله دیستانس بعنوان رله حفاظتی در سراسر خطوط انتقال انرژی عملاً مشکل حفاظت موضعی و سلکتیو وتنظیم جهش زمانی رله های پی در پی نیز برطرف میگردد .

فرض کنید در نقطه ای از یک شبکه حلقوی یک جریان اتصال کوتاه ایجاد شود. در این صورت از تمام رله های دیستانس که در شبکه قرار دارد یک جریان اتصال کوتاه عبور میکند و بوبین آنها تحریک میشود. ولی فقط نزدیکترین رله به محل اتصالی موفق به قطع سیم اتصالی شده از شبکه میگردد. زیرا قطعه سیم بین این دو نقطه کوچکترین مقاومت را دارا بوده و بنابراین بیشترین جریان از آن می گذرد لذا زمان قطع این رله از همه کمتر است.

هر یک از کمیت های زیر میتواند عوامل موثر در رله دیستانس باشد :

۱- مقاومت ظاهری یا امپدانس $Z = \frac{U}{I}$

۲- هدایت ظاهری یا ادمیتانس $\frac{I}{U} = \frac{1}{Z}$

۳- مقاومت اهمی $\frac{U\cos\varphi}{I} = Z\cos\varphi$

٤- هدایت اهمی یا کندوکتانس $\frac{I\cos\varphi}{U} = \frac{1}{Z}\cos\varphi$

۵- مقاومت غیر اهمی یا راکتانس $X = \frac{U.\sin\varphi}{I} = Z\sin\varphi$

۶- هدایت غیر اهمی یا سوسپتانس $\frac{I\sin\varphi}{U} = \frac{1}{Z}\sin\varphi$

۷- امپدانس مختلط

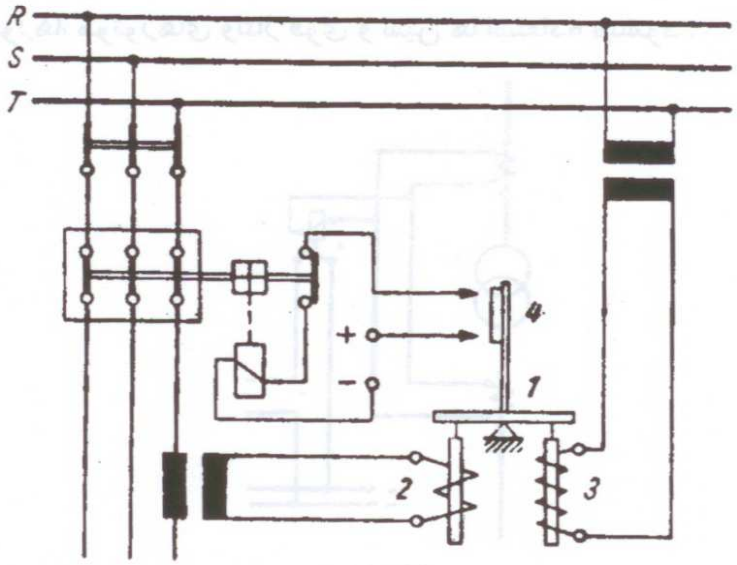
رله ای که کمیت Z را می سنجد رله امپدانس نامیده میشود و رله ای که کمیت X را می سنجد رله راکتانس نامیده می شود .

از رله دیستانس می توان برای حفاظت هر نوع شبکه ای با هر ولتاژ الکتریکی استفاده کرد. ضمناً برای حفاظت ترانس ها و ژنراتورها نیز استفاده می گردد .

شکل (۵) طرز کار رله دیستانس را نشان می دهد. از الکترومگنت۲، جریانی که متناسب با جریان اتصال کوتاه است عبور می کند بطوریکه بمحض اینکه جریان اتصال کوتاه به مقدار

معین رسید هسته داخلی آن جذب شده و کنتاکت ٤ بسته میشود و در نتیجه مدار رله قطع کننده کلید اصلی بسته شده و سبب قطع کلید میگردد.

الکترومگنت ۳ که بر روی ولتاژ خط بسته شده است نیروی مقاوم رله را تولید میکند و سبب ایجاد گشتاوری در خلاف جهت گشتاور نیروی الکترومگنت ۲ میشود. لذا هر چه ولتاژ بیشتر باشد نیروی مقاوم الکترومگنت ۳ بیشتر میشود و در ضمن مقاومت ظاهری خط تا نقطه اتصالی نیز بیشتر میشود .

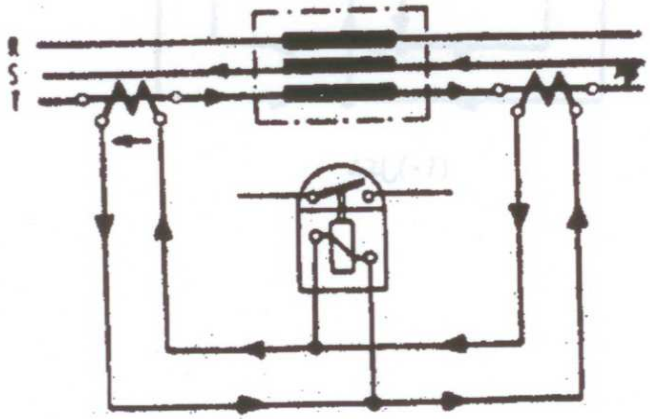


شکل(۵)

۲-۳- رله دیفرانسیل

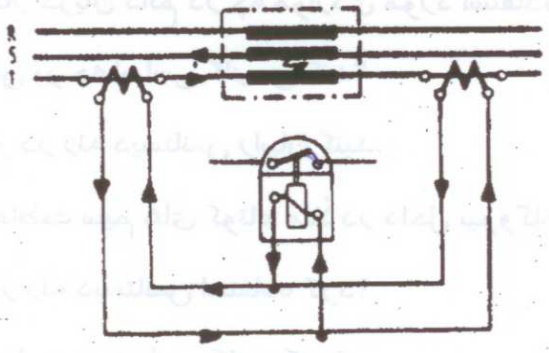
برای حفاظت سیم های کوتاه، مثلاً در داخل نیروگاه و یا پشت ترانسفورماتور ها بعلت کوچک بودن امپدانس آن نمیتوان از رله دیستانس استفاده کرد. در اینگونه مواقع بیشتر از رله دیفرانسیل استفاده میشود. این رله بر اساس مقایسه جریانها کار میکند و بدینوسیله جریان در ابتدا و انتهای وسیله ائی که باید حفاظت شود، سنجیده شده و با هم مقایسه میگردد. این تفاوت جریان در دو طرف محدوده حفاظت شده اغلب در اثر اتصال کوتاه یا اتصال زمین و غیره بوجود می آید در صورتیکه قبل از اتصالی شدن مسلماً جریانهای دو طرف با هم برابر هستند. شکل(۶) طرز اتصال رله دیفرانسیل را برای حفاظت یک ترانسفورماتور نشان می دهد. بطوریکه ملاحظه میشود مقایسه جریانهای قبل و بعد از ترانس توسط ترانس های جریان انجام میشود. جریان ثانویه ومنحنی مغناطیسی این ترانسهای جریان باید برابر باشند و طوری مخالف یکدیگر

شکل (۸) یک اتصال کوتاه را در خارج از محدوده حفاظت نشان میدهد. در این حالت نیز چون جریان ثانویه هر دو ترانسفورماتور جریان با هم برابرند رله دیفرانسیل بدون جریان است. بنابراین مشاهده میشود که اتصال کوتاه خارج از محدوده حفاظت شده بر روی رله دیفرانسیل بدون اثر است .



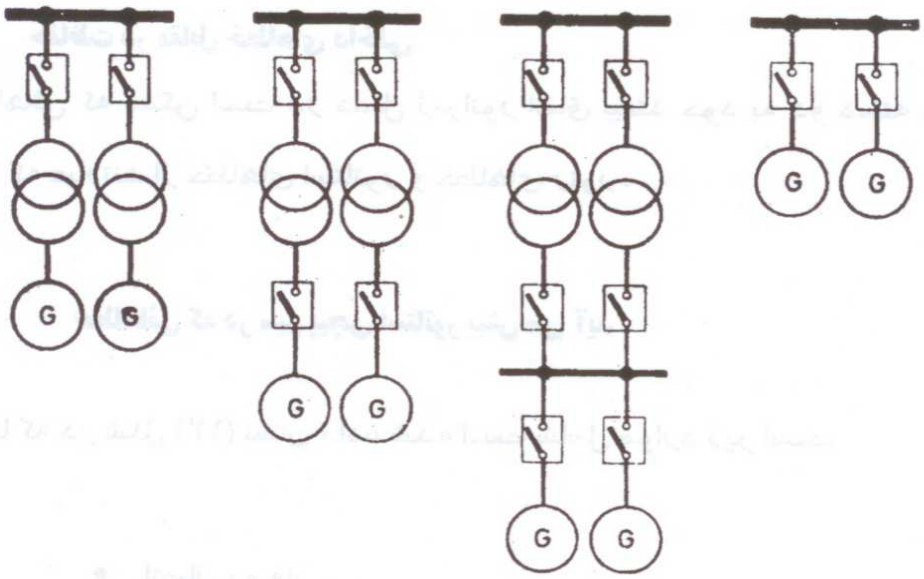
شکل(۸)

شکل (۹) یک اتصال کوتاه را در داخل محدوده ای نشان میدهد که فقط از یک طرف تغذیه میشود . در اثر این اتصالی جریانهای اولیه ترانس های جریان متفاوت شده و تفاوت جریان ثانویه ترانس های جریان سبب بکار انداختن رله میشود .



شکل(۹)

۳- شناخت اتصالی ها در ژنراتور



شکل(۱۱)

در اتصال واحد، هر ژنراتور دارای ترانسفورماتور مخصوص بخود میباشد، بطوریکه ژنراتور و ترانسفورماتور یک واحد الکتریکی را تشکیل میدهند. بنابراین این واحد، با یک حفاظت واحد نیز مجهز میشود.

اتصال واحد اصولاً در موقعی که قدرت ژنراتورها زیاد ا ست بکار برده میشوند .

در اتصال شین، ژنراتورها دارای ترانسفورماتور مخصوص بخود نیستند بلکه انرژی ژنراتورها مستقیماً به شین منتقل میشود و سپس بکمک یک یا چند ترانسفورماتور، انرژی لازم از شین ها گرفته میشود .

خطاهائی که در ژنراتور اتفاق می افتد یا در اثر کمبود و نقصان ایزولاسیون و عایق بندی قسمتی از سیم پیچی های ژنراتور و کابل های رابط آن است و یا بستگی به عوامل خارجی دیگر دارد . لذا می توان حفاظت ژنراتور را به دو دسته زیر تقسیم کرد :

- حفاظت در مقابل خطاهای داخلی
- حفاظت در مقابل عوامل خارجی غیر مجاز

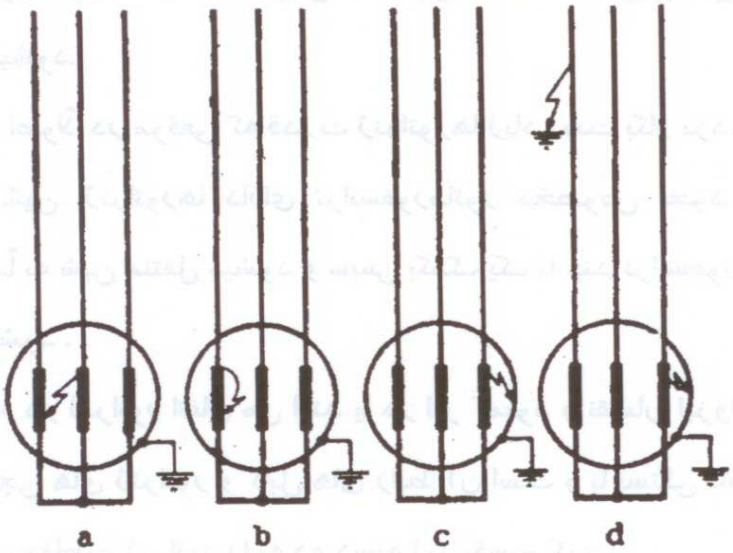
۳-۱-۱- حفاظت در مقابل خطاهای داخلی

خطاهائی که ممکن است در داخل ژنراتور اتفاق بیفتد خود به دو دسته منطقه ای تقسیم می شوند که عبارتند از خطاهای استاتور و خطاهای رتور .

۳-۱-۱-۱- خطاهائی که در سیم پیچی استاتور پیش می آید

این خطا ها که در شکل (۱۲) نشان داده شده است شامل موارد زیر است:

- اتصال دو فاز
- اتصال حلقه
- اتصال زمین
- اتصال زمین دوبل مطابق شکل (۱۲-d)



شکل(۱۲)

۳-۱-۱-۲- خطاهائی که در رتور پیش می آید

- اتصال به زمین
- اتصال حلقه یا اتصال زمین دوبل
- قطع تحریک

۳-۱-۲- حفاظت در مقابل خطرات خارجی

عوامل خارجی که سبب خطا در داخل ژنراتور میشود نیز به دو دسته تقسیم می شوند. یکی عواملی که در شبکه برق پیش می آید و دیگری عواملی است که در قسمت گرداننده رتور ژنراتور پیش می آید و مستقیماً بر روی ژنراتور موثر است.

عواملی که در شبکه پیش میاید شامل موارد زیر است :

- اتصال کوتاه در شبکه (مخصوصاً در اتصال مستقیم به شین)
- بار نامتعادل
- ازیاد ولتاژ در اثر برداشت غیر مترقبه وپیش بینی نشده قسمت بزرگی از بار ژنراتور

عواملی وخطاهائی که دروسیله گرداننده ژنراتور پیش می آید نیز شامل موارد زیر است:

- خراب شدن توربین
- قطع بخار

باید دانست که در موقع بروز خطا، تنها قطع ژنراتور از شبکه برق کافی نیست بلکه باید انرژی که سبب اتصالی شده است نیز از میان برداشته شود.

دستگاههائی که باید در موقع قطع ژنراتور بکار افتند عبارتست :دستگاه برداشت تحریک و دستگاه خاموش کننده جرقه .

حفاظت قسمت مکانیکی ژنراتور مثل دستگاه تنظیم درجه حرارت یاتاقانها و تنظیم هوای خنک کننده و غیره مربوط به حفاظت الکتریکی ژنراتور نمیباشد.گر چه اغلب عدم کار صحیح این دستگاهها نیز باعث قطع ژنراتور میشود.

حفاظت در مقابل خطاهای داخلی ژنراتور بوسیله دستگاههای حفاظتی زیر انجام میشود :

- رله دیفرانسیل برای تشخیص اتصال دو فاز مختلف در ژنراتور
- رله اتصال حلقه برای تشخیص اتصال حلقه در یک فاز ژنراتور
- رله اتصال زمین برای حفاظت ژنراتور در مقابل اتصال زمین سیم پیچی استاتور
- رله توان متقابل برای حفاظت کلی ژنراتورهای کوچک

حفاظت در مقابل عوامل خارجی در ژنراتورها نیز بوسیله دستگاههای زیر انجام میشود:

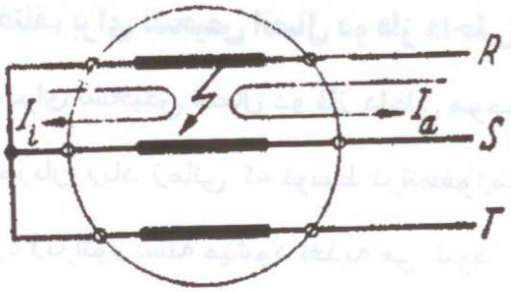
- رله حرارتی برای حفاظت در مقابل بار زیاد
- رله جریان زیاد برای حفاظت در مقابل اتصال کوتاه
- رله ولتاژ زیاد برای حفاظت در مقابل ولتاژ زیاد غیر مجاز
- رله بار نا متعادل برای حفاظت در مقابل بار نا متعادل غیر مجاز
- رله برگشت توان برای جلوگیری از حالت موتوری شدن ژنراتور

۴- حفاظت ژنراتور در قبال خطاهای سیم پیچ استاتور

۴-۱- اتصال دو فاز و رله محافظ آن

اتصال دو فاز در داخل ژنراتور در دو فازی که در یک شیار واقع شده است ویا در دو فازی که کله سیم های آن در کنار هم قرار گرفته اند، در اثر شکستن وخرد شدن عایق بندی کلافها ویا نقایص دیگری بوجود می آید. ضمناً ممکن است سیم پیچی دو فاز مختلف که در یک شیار مشترک قرا ر ندارند نیز هر کدام جداگانه با بدنهٔ فلزی ژنراتور (دندانه ها) اتصالی کند و در نتیجه سبب اتصال دو فاز از طریق بدنه فلزی ژنراتور گردد. از طرفی اتصال بدنه یک فاز در داخل ژنراتور واتصال زمین فاز دیگر در شبکه (خارج از ژنراتور) مانند شکل (۱۲-d) نیز یک اتصال دو فاز را تشکیل می دهد .

اگر اتصال دوفاز در داخل ژنراتور باشد، جریان اتصال کوتاه بین دو نقطهٔ اتصالی اولاً توسط خود ژنراتور بوجود می آید که به آن جریان اتصال کوتاه داخلی گفته میشود وثانیاً توسط ژنراتوری که با این ژنراتور بطور موازی کار می کند از خارج وارد می شود که به آن جریان اتصال کوتاه خارجی گفته میشود.درشکل(۱۳) این دو جریان با I_i و I_a مشخص شده است. همانطور که میدانیم در موقع کار عادی ژنراتور، جریانها در دو طرف ژنراتور یعنی در طرفی که به شبکه متصل است ودر طرفی که به نقطهٔ صفر اتصال ستارهٔ سه فاز ژنراتور منتهی میشود چه از لحاظ فاز و چه از لحاظ دامنه با هم برابر میباشند. ولی در موقع اتصال دو فاز در داخل ژنراتور، این جریانها برابری خود را از دست میدهند .



شکل(۱۳)

شدت جریان اتصال کوتاه خارجی I_a بستگی به قدرت اتصال کوتاه شبکه، بدون در نظر گرفتن قدرت ژنراتوری که اتصالی شده است دارد .در صورتیکه جریان اتصال کوتاه داخلی بستگی به شدت تحریک ژنراتور ومحل اتصالی آن دارد .

هرچه محل اتصالی از برن های ژنراتور بطرف نقطهٔ صفر نزدیکتر شود، این جریان اتصالی بزرگتر میشود .این موضوع که در لحظهٔ اول غیر معقول بنظر میرسد، بدلیل آن است که برای از بین بردن وخنثی کردن فلوی مغناطیسی در حالت اتصالی، همیشه به مقدار معینی آمپر دور در جهت مخالف احتیاج است .در موقعی که نقطهٔ اتصالی از برن ها به جهت نقطهٔ صفر ستاره پیش میرود، تعداد حلقه هایی که برای ایجاد این آمپر دور لازم است کم میشود، لذا باید جریان بالا رود .بعبارت دیگر میتوان گفت که حلقه های اتصالی شده ژنراتور مثل حلقه های یک ترانسفورماتور میماند که در آن نسبت جریانها متناسب باعکس تعداد حلقه ها است .یعنی اگر در وسط سیم پیچی اتصالی میشود، باید جریان دو برابر شود والی آخر.

البته فقط در نزدیکیهای نقطهٔ صفر ستاره، جریان اتصال کوتاه در اثر پراکندگی یک مرتبه خیلی کوچک خواهد شد .چنانچه دیده میشود بر عکس اتصال زمین که هر چه محل اتصالی از برن ها در جهت نقطهٔ صفر ستاره دورتر باشد جریان اتصال زمین کمتر است، در اتصال دو فاز، جریان اتصال کوتاه در موقعی که اتصالی در اطراف نقطهٔ صفر نیز باشد خیلی زیاد است .

علاوه بر جریان اتصال کوتاه زیاد که در موقع اتصال دو فاز ایجاد میشود، میتوان اتصال دو فاز در داخل ژنراتور را توسط کم شدن ولتاژ نیز تشخیص داد .بطوریکه هرچه محل اتصالی به برن های ژنراتور نزدیکتر باشد، این کوچک شدن ولتاژ (شکسته شدن ولتاژ)بیشتر ظاهر میشود .

۴-۱-۱- روشهای مختلف برای تشخیص اتصال دو فاز داخلی

روشهای مختلفی که برای تشخیص اتصال دو فاز داخلی موجود است عبارت است از :

- رلهٔ جریان زیاد زمانی که توسط ترانسفورماتور جریانی که در نقطهٔ صفر ستارهٔ ژنراتور بسته میشود تغذیه می شود .
- رلهٔ دیفرانسیل

۴-۱-۱-۱- رلهٔ جریان زیاد زمانی

از آنجا که اتصال دو فاز در داخل ژنراتور همیشه سبب عبور جریان اتصال کوتاه زیادی از نقطهٔ صفر ستارهٔ ژنراتور میشود، میتوان به کمک سنجش این جریان توسط رلهٔ جریان زیاد زمانی از وقوع اتصالی آگاهی پیدا کرد .در اینحالت رلهٔ جریان زیاد زمانی بروی سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور جریانی که در نقطهٔ صفر ژنراتور بسته شده است نصب میگردد.

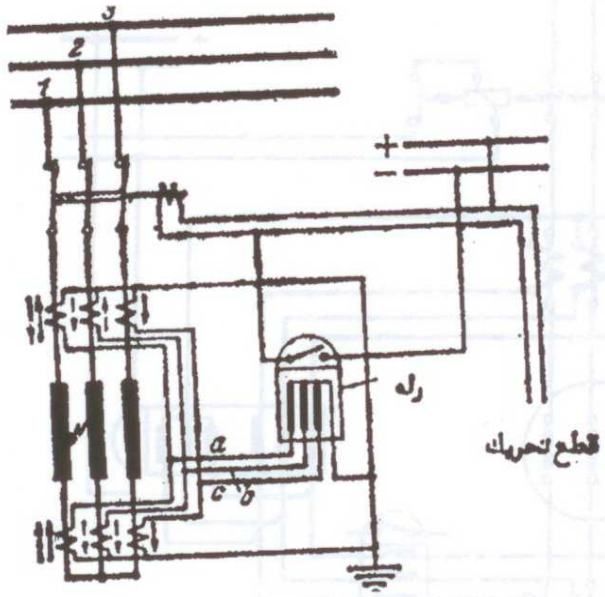
البته این رله نمی تواند تشخیص دهد که اتصال دو فاز در داخل ژنراتور ویا در خارج ژنراتور اتفاق افتاده است واز آنجا که کلید اصلی ژنراتور نباید در اثر خطاهای خارجی بلافاصله وبیموقع قطع گردد باید زمان قطع این رله خیلی زیاد باشد .از طرف دیگر مدت زیاد اثر اتصالی در ژنراتور سبب توسعه هر چه بیشتر محل اتصالی واز بین رفتن سیم پیچی ژنراتور میشود .لذا از رلهٔ جریان زیاد زمانی میتوان فقط بعنوان یک وسیلهٔ حفاظتی ذخیره استفاده کرد .در شکل (۱۵) محل نصب رلهٔ جریان زیاد زمانی در طرف اتصال صفر ستارهٔ ژنراتور نشان داده شده است .

شدت جریان کار رله باید قدری کمتر از جریان اتصال کوتاه دائمی ژنراتور در حالت تحریک بارکامل تنظیم گرددونسبت به نوع ماشین، این مقدار اغلب برابر با 1.2 تا 1.6 جریان نامی ژنراتور میباشد .

۴-۱-۱-۲- رله دیفرانسیل

برای تعیین اتصال دو فاز داخلی و حفاظت ژنراتور در مقابل اثرات نامطلوب آن، رله دیفرانسیل از همه مناسبتر است. شکل (١٤)

چنانچه دیده میشود در روی هر فاز، در دو طرف ژنراتور یک ترانسفورماتور جریان نصب شده و سیم پیچی ثانویه این ترانسفورماتورها بطور همنام بیکدیگر متصل شده اند و از محل اتصال ثانویه ترانسفورماتور ها توسط سیم های c,b,a انشعابی برای رله دیفرانسیل گرفته شده است. در موقع کار عادی ژنراتور که جریانهای دو طرف ژنراتور با هم برابر است ولتاژ سه سر سیمی که به رله دیفرانسیل میرود صفر بوده و رله بدون جریان میباشد .



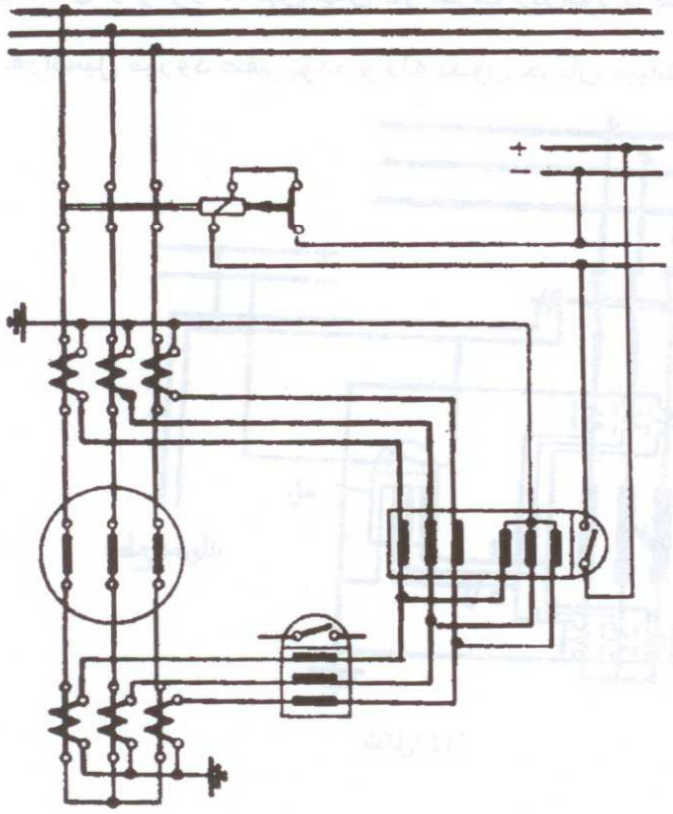
شکل(١٤)

در موقع اتصال کوتاه بین دو فاز داخل ژنراتور، جریان از ترانسفورماتورهای جریان عبور کرده و چون این جریان ها از حالت عادی (تعادل و برابری) خارج شده ومازاد جریان از رله دیفرانسیل عبور میکند و رله دیفرانسیل را تحریک نموده و سبب قطع کلید ژنراتور و برداشت تحریک آن میشود.

رله دیفرانسیل را نباید خیلی دقیق تنظیم نمود زیرا دقت زیاد سبب قطع بی موقع رله میشود. لذا معمولاً رله دیفرانسیل را طوری تنظیم میکنند که اگر تفاوت جریان برابر با ١٠ تا ٢٠ در صد جریان نامی شد رله عمل نماید.

در صورتیکه نخواهیم دقت وحساسیت رلهٔ دیفرانسیل را کوچک کنیم، باید از رلهٔ دیفرانسیل پایدار استفاده نمود .

شکل (۱۵) طرز اتصال رلهٔ دیفرانسیل پایدار را برای حفاظت ژنراتوری که مستقیماً به شین بسته شده است نشان میدهد . در این شکل از رلهٔ جریان زیاد که در طرف ستاره ژنراتور بسته شده است بعنوان ذخیرهٔ حفاظتی استفاده گردیده است .



شکل (۱۵)

برای حفاظت اتصال دو فاز ژنراتوری که در حالت خیلی استثنایی سیم پیچی استاتور آن بصورت مثلث بسته شده است، باید سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتورهای یک طرف ژنراتور را نیز بصورت مثلث وصل کرد .زیرا همانطور که میدانیم اولاً جریان در سیمهای خروجی ژنراتور $\sqrt{3}$ برابر جریان داخلی ژنراتور میباشد ودر ثانی ایندو جریان نسبت بهم۳۰ درجه اختلاف فاز دارند وچون ترانسفورماتورهای جریان یک طرف ژنراتور در شاخهٔ مثلث قرار میگیرد، اگر نسبت تبدیل ترانسفورماتورها $\frac{i}{\sqrt{3}}$ و $\frac{I}{\sqrt{3}}$ باشد وطرف ثانویه آنرا به صورت اتصال مثلث ببندیم، جریانهای خروجی ترانسفورماتورهای جریان $\sqrt{3}$ برابر بزرگ خواهد شد ودر اینصورت میتوان از ۶ترانسفورماتور با نسبت تبدیل برابر استفاده کرد .شکل (۱۶) اتصال

در ضمن میتوان رلهٔ دیفرانسیل غیر حساس را طبق شکل (۱۹- ج) طوری بست که وظیفهٔ رلهٔ حفاظتی ذخیره را نیز برای ژنراتور بعهده بگیرد .

اگر مصرف داخلی کارخانه توسط سیم پیچی سوم یک ترانسفورماتور سه سیم پیچه تأمین میشود. شکل (۱۹-ه) توان سیم پیچی سوم تقریباً ۱۰٪ توان سیم پیچی اصلی ترانسفورماتور خواهد بود .در اینحالت اگر جریان کار رله برابر ۲۰٪ جریان نامی سیم پیچی انتخاب شود و این جریان نسبت به جریان سیم پیچی مصرف داخلی حساب شود، مشاهده می شودکه جریان کار رله برابر ۲۰۰٪ جریان سیم پیچی سوم خواهد شد .

لذا چنین رله ای برای خطائی که در داخل سیم پیچی سوم اتفاق میافتد کاملاً بی نتیجه وبی اثر خواهد بود ودر بعضی اوقات حتی جریان اتصال کوتاه در اثر اتصال دو فاز داخل سیم پیچی مصرف داخلی نیز برای بکار انداختن رلهٔ دیفرانسیل کافی می باشد .

در اینگونه مواقع بهتر است علاوه بر رلهٔ دیفرانسیل از یک رلهٔ جریان زیاد نیز برای حفاظت سیم پیچی با قدرت کم استفاده کرد .این رله در شکل باعدد ۲ مشخص شده است . در صورتیکه مصرف داخلی طبق شکل (۱۹- و) نیز تأمین شود، حفاظت هر دو ترانسفورماتور بکمک یک رلهٔ دیفرانسیل نتیجه مطلوب نخواهد داد.لذادر اینحالت نیز از یک رلهٔ دیفرانسیل مجزاکه دارای حساسیت رلهٔ دیفرانسیل ترانسفورماتوراصلی است،جهت حفاظت ترانس مصرف داخلی استفاده میشود .

در اشکال(۱۹-ب،د،و) رله های دیفرانسیل طوری بسته شده اند که سیم های رابط بین ترانسفورماتورهای جریان نیز حفاظت شود .

همانطور که گفته شد اتصال کوتاه در استاتور ژنراتور در مرحله های ابتدائی واولیه سبب خراب شدن حلقه ای میشود که اتصالی شده ولی اگر این اتصالی فوراً قطع نگردد حتی سبب خراب شدن وسوزاندن آهن دندانه های استاتور نیز میگردد .از این جهت رلهٔ دیفرانسیل که برای حفاظت ژنراتور بکار برده میشود سبب قطع کلید دیژنکتور ژنراتور نیز میشود ودر سیستم واحد (ژنراتور- ترانسفورماتور- شین) سبب قطع کلید ترانسفورماتور ویا اگر دو کلید موجود باشد سبب قطع کلید ژنراتور وکلید ترانسفورماتور خواهد شد .در

ضمن رله دیفرانسیل در موقع عمل کردن باعث قطع مدار تحریک شده ودستگاه جرقه خاموش کن $CO2$ را نیز بکار میاندازد.

در صورتیکه در اتصال واحد ژنراتور، از دو رلهٔ دیفرانسیل استفاده شده باشد فقط رلهٔ دیفرانسیل ژنراتور بروی دستگاه جرقه خاموش کن $CO2$ کار میکند .

در بعضی مواقع شاید بهتر باشد که رلهٔ دیفرانسیل حتی بر روی دستگاههای ترمز کننده توربین نیز مؤثر واقع شود .

۴-۲- اتصال زمین و رله حفاظت آن

اتصالی پیدا کردن سیم پیچی استاتور ژنراتورهای ولتاژ قوی با بدنه فلزی ماشین در اثر عدم قدرت کافی عایقی سیم پیچی و یا خراب شدن عایق بوجود میاید.

در اثر این اتصالی اگر نقطهٔ صفر شبکه نسبت به زمین عایق باشد،یک جریان خازنی از زمین میگذرد که مقدار آن خیلی کم است ومعمولاً نمی تواند از چند آمپر تجاوز کند، به اینجهت چنین جریان کمی اگر مدت اثر آن نیز زیاد نباشد در محل اتصال سیم با بدنهٔ ماشین اثرات ناگواری نخواهد داشت، وباعث خرابی آهن استاتور نمی شود .

ولی جریان های بیش از ۲۰آمپر حتی اگر مدت اثر آن نیز کم باشد، اثر نامطلوبی روی آهن استاتور بجا خواهد گذاشت

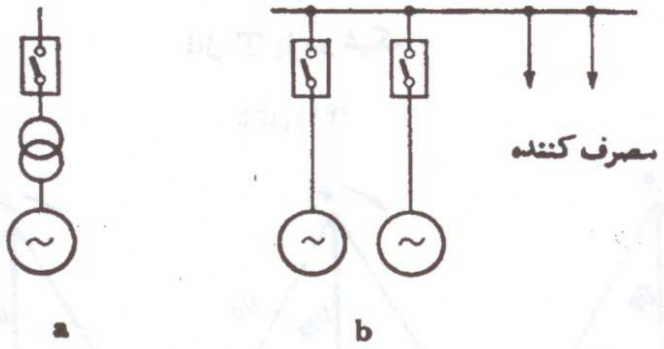
این نوع اتصالی بدلایل زیادی امکان پذیر است زیرا همانطور که میدانیم عبور جریان کم در روی ورقه آهن استاتور نمیتواند اثرات جدی روی استاتور بگذارد ولی این جریان، عایق سیم را در محل اتصالی خراب کرده و میسوزاند و اگر جریان اتصالی قطع نگردد سوختگی عایق در محل اتصالی به قسمت های دیگر سیم پیچی داخل همان شیار سرایت کرده و اگر سیم مجاور مربوط به همان فاز اتصالی شده باشد، اتصال حلقه و اگر مربوط به فاز دیگر باشد، اتصالی دو فاز ایجاد مینماید.

علاوه بر این، اتصال زمین یک فاز باعث بالا رفتن ولتاژ الکتریکی فاز سالم نسبت به زمین شده و این ازدیاد ولتاژ میتواند باعث اتصال بدنه دیگری در فاز دیگر شود.در نتیجه اتصال بدنه تبدیل به اتصال زمین دوبل می شود که همان اثر اتصال کوتاه در مدار را دارد .

لذا در صورت امکان چنین اتصالی حتی در قسمت های نزدیک نقطه صفر ستاره که در آن جریان اتصالی خیلی کم است ولی به دلایل فوق میتواند سبب اتصال دو فاز گردد، بایستی به محض ایجاد اتصال بدنه داخلی، ژنراتور مزبور را از مدار خارج کرده و تحریک آن را نیز سریعاً برداشت.

چنانچه میدانیم ممکن است ارتباط ژنراتور باشین بطور مستقیم ویا بواسطهٔ ترانسفورماتور انجام گیرد. در اتصال واحد ژنراتور وترانسفورماتور،مانند شکل (۲۰-الف) ژنراتور وشبکه از نظر الکتریکی بهم مرتبط واز نظر مکانیکی از هم مجزا میباشند .

در اتصال مستقیم ژنراتور به شبکه، مانند شکل (۲۰-ب) ژنراتور وشبکه هم به صورت الکتریکی وهم مکانیکی بهم مربوطند وچون در هر یک از حالات فوق اگر اتصالی در خارج از ژنراتور باشد جریان اتصال زمین فرق میکند، لذا در هر یک از حالات ذکر شده روش مخصوصی برای حفاظت ژنراتور در مقابل اثرات اتصال بدنه بکار برده میشود .

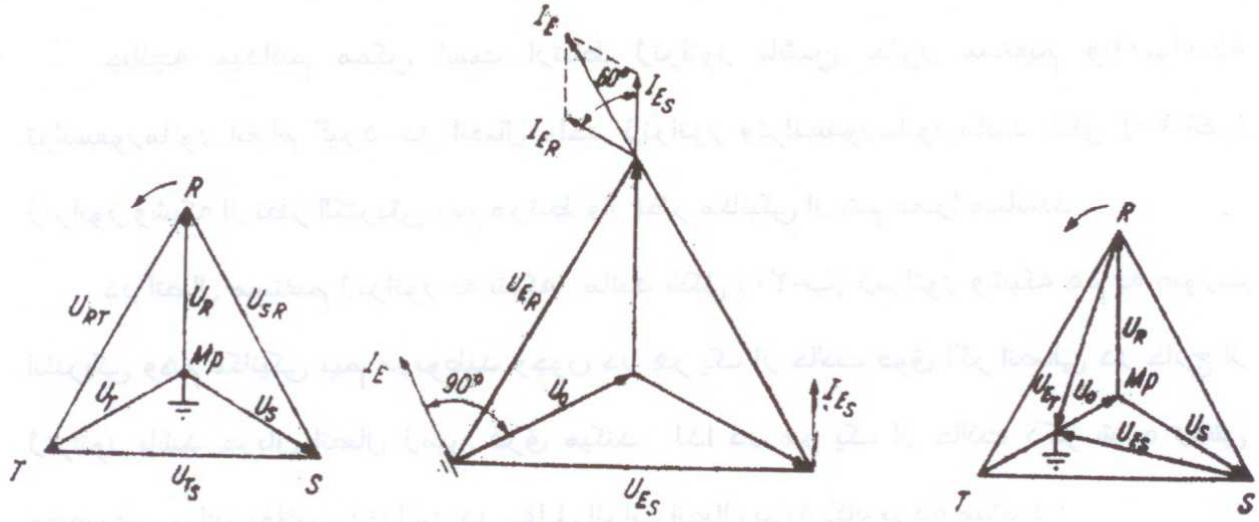


شکل(۲۰)

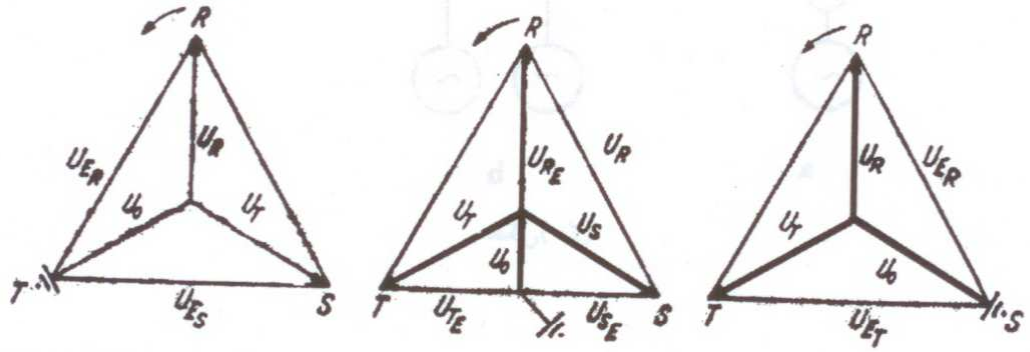
۴-۲-۱- حفاظت اتصال زمین ژنراتور در اتصال واحد

در صورتیکه ژنراتور وترانسفورماتور با هم تشکیل یک واحد الکتریکی را بدهد، چون سیم پیچی ژنراتور با شبکه ارتباط مستقیم فلزی ندارد، شدت جریان اتصال زمین به محل اتصال شده بستگی دارد بطوریکه اگر اتصالی در طرف ولتاژ ضعیف (در طرف اولیه ترانسفورماتور ودر خود ژنراتور) باشد، شدت جریان اتصال زمین بمراتب بیشتر از حالتی است که اتصالی در شبکه یا در طرف ولتاژ قوی ترانسفورماتور باشد .در ضمن جریان اتصال زمین ژنراتور بستگی به محل اتصالی شده در داخل ژنراتور نیز دارد وهرچه محل اتصالی

شده به نقطهٔ صفر ستاره نزدیکتر باشد، این جریان کمتر خواهد بود زیرا ولتاژ صفر U_0 یا ولتاژی که بین نقطهٔ صفر وزمین ایجاد میشود U_{EM} کمتر خواهد شد .شکل (۲۱) ولتاژ صفر را برای ژنراتور با اتصال ستاره و شکل(۲۲) با اتصال مثلث در حالت های مختلف نشان میدهد .



شکل (۲۱)

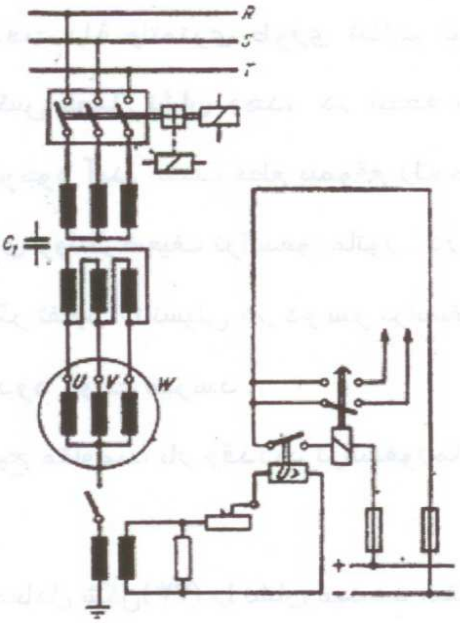


شکل (۲۲)

برای حفاظت ژنراتور در مقابل اتصال زمین روشهای متعددی به کار برده شده و مورد استعمال هر یک از آنها بستگی به دقت حفاظت دارد.

۴-۲-۱-۱- استفاده از رلهٔ ولتمتری برای حفاظت اتصال زمین

با اتصال زمین شدن یکی از فازها چنانچه گفته شد، $U_\circ$ (ولتاژ صفر) متناسب با محل اتصالی شده از صفر تا $\frac{U}{\sqrt{3}}$ ولت بالا میرود .این ولتاژ را میتوان توسط ترانسفورماتور بخصوصی بنام ترانسفورماتور نقطهٔ صفر که بین نقطهٔ ستارهٔ ژنراتور وزمین بسته شده است مانند شکل (۲۳) سنجید.



شکل (۲۳)

چنانچه دیده میشود از ترانسفورماتور صفر بوسیلهٔ یک مقاومت اهمی بار گرفته میشود. این مقاومت باید طوری انتخاب شود که جریان اتصال زمین در طرف اولیه ترانسفورماتور صفر،در بدترین ونامساعد ترین حالت یعنی اتصال در برن ژنراتور در موقعی که ولتاژ صفر باندازه $\frac{U}{\sqrt{3}}$ ولت بالا رفته است، از ۵ آمپر تجاوز نکند .

موازی با مقاومت بار، رلهٔ ولتمتری $(U>)$ قرار دارد .نسبت تبدیل ترانسفورماتور صفر برابر است با:

$$U_\circ = \frac{U_G/\sqrt{3}}{100} \qquad \text{ویا} \qquad U_\circ = \frac{U_G/\sqrt{3}}{200}$$

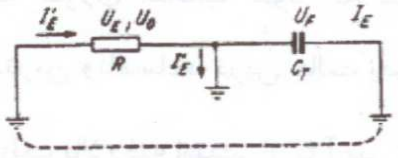
در این رابطه ها U_G ولتاژ ژنراتور بر حسب ولت میباشد .

با در نظر گرفتن رابطهٔ فوق وقتی محل اتصالی تا برن ۹۰٪حلقه های یک فاز ژنراتور را در برداشته باشد، ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور صفر از ۱۰ولت کمتر نمیشود وبه این جهت باید رلهٔ ولتمتری دارای حدود سنجش قابل تنظیم بین ۸تا ۲۰ولت باشد . با چنین رله ای میتوان فقط ۹۰٪ از سیم پیچی استاتور ژنراتور رادر مقابل اتصال زمین وخطرات بعدی آن بطور مطمئن حفاظت نمود .

اگر حساسیت ودقت رلهٔ ولتمتری طوری تنظیم شود که رله بتواند برای ولتاژهای کمتر از ۸ ولت نیز عکس العمل نشان دهد، در نتیجه هر اتصال زمینی گر چه در شبکه وخارج از نیروگاه نیز بوجود آید، سبب قطع بیموقع رله میشود .زیرا بعلت کاپاسیته موجود بین سیم پیچی ولتاژ قوی وولتاژ ضعیف ترانسفورماتور، در موقع اتصال زمین شدن شبکه نیز ولتاژ کمی یا بعبارت دیگر تفاوت پتانسیلی در دو سر ترانسفورماتور نقطهٔ صفر بوجود خواهد آمد که مقدار آن تا حدود ۸ولت میرسد .

برای انتخاب صحیح مقاومت بار وقدرت ترانسفورماتور صفر محاسبات زیر باید انجام شود .

شکل (۲٤) مدار معادل شکل(۲۳) را نشان میدهد .مقاومت خازنی بین سیم پیچی ثانویه واولیه ترانسفورماتور برابر است با $\frac{1}{\omega \cdot C_T}$ وبا مقاومت اهمی ترانسفورماتور صفر بطور سری قرار دارد .



شکل (۲٤)

مقاومتهای ژنراتور وترانسفورماتور بقدری کوچک است که میتوان از آن صرف نظر کرد .جریان اتصال زمین که در اثر کاپاسیتهٔ کوپلاژ در موقع اتصال زمین شدن یک فاز طرف ولتاژ قوی ترانسفورماتور از زمین عبور میکند، برابر با :

$$I_E = \frac{U_N}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot C_T$$

U_Nعبارتست از ولتاژ نامی در طرف ولتاژ قوی شبکه ودر صورتی که در رابطهٔ فوق بجای U_N از U_G (ولتاژ ژنراتور)استفاده شود، خواهیم داشت :

$$I_E = \frac{U_G}{\sqrt{3}} \cdot u_1 \cdot \omega \cdot C_T$$

نظر باینکه مقاومت خازنی $\frac{1}{\omega \cdot C_T}$ با مقاومت R بطور سری بسته شده است افت ولتاژی که این جریان در دو سر مقاومت سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور ایجاد میکند برابر است با :

$$U_F = I_E \cdot R$$

که با در نظر گرفتن حفاظت محلی وجلوگیری از قطع بیموقع رله، باید :

$$U_F < U_{O\min}$$

باشد ویا

$$U_F = \frac{U_{O\min}}{K}$$

که در آن K ضریب اطمینان ودر حدود1.4 تا1.5میباشد .

اگر ولتاژ ستارهٔ ژنراتور $\frac{U_G}{\sqrt{3}}$ را برابر ۱۰۰٪ فرض کنیم باید ولتاژ نقطهٔ صفر در صورتیکه خواسته باشیم $a\%$ سیم پیچی ژنراتور حفاظت شود برابر با:

$$U_{O\min} = \frac{(100-a)}{100} \cdot \frac{U_G}{\sqrt{3}}$$

باشد وبعلت داشتن اطمینان بیشتر اگر :

$$U_F = \frac{U_{O\min}}{K}$$

قرارداده شود،بایدمقاومت بارترانسفورماتورصفر نسبت به طرف اولیه ترانسفورماتور برابر با:

$$R_1 = \frac{U_F}{I_E} = \frac{(100-a)}{K \cdot \omega \cdot C_T \cdot u_1 \cdot 100}$$

ودر اینصورت مقاومت بار ترانسفورماتور نقطهٔ صفر در طرف ثانویه برابر با :

$$R_2 = \frac{R_1}{u^2_1} = \frac{(100-a)}{K \cdot \omega \cdot C_T \cdot u_1 \cdot u^2_0 \cdot 100}$$

میشود .در این رابطه u_0 ضریب تبدیل ولتاژ ترانسفورماتور قدرت است .

a عملاً ۹۰٪انتخاب میشود و C_T کاپاسیتهٔ ترانسفورماتور قدرت است که برای ترانسفورماتورهای قدرت زیادکه در نیرو گاهها بکار برده میشود در حدود 0.01 میکروفاراد میباشد .مقدار دقیق آنرا میتوان از کارخانه سازنده سوال کرد .

شدت جریان اتصال زمین در موقع اتصالی شدن یکی از سیم پیچی های استاتور ژنراتور به زمین بستگی به مقاومت بار وولتاژ دو سر ترانسفورماتور صفر دارد واز آنجا که ولتاژ صفر نیز بستگی به محل اتصالی شده دارد لذا باید برای جریان اتصال زمین یک ماکزیمم ومینیمومی در نظر گرفته شود . برای از بین بردن هر گونه اشتباهی بین جریان اتصال زمین شبکه واتصال زمین سیم پیچی استاتور ژنراتور، جریان اتصال زمین که در اثر اتصالی سیم پیچی استاتور با زمین بوجود میاید با حرف I'_E نمایش میدهیم .

برای تعیین قدرت ترانسفورماتور نقطهٔ صفر باید همیشه ماکزیمم جریان و ماکزیمم ولتاژ صفر $U_\circ = \frac{U_G}{\sqrt{3}}$ در نظر گرفته شود، لذا میتوان نوشت :

$$N_0 = U_{\circ max} \cdot I'_E = \frac{U_G}{\sqrt{3}} \cdot I'_E$$

عملاً باید I'_E از۵ آمپر تجاوز نکند زیرا در صورتی که جریان از۵ آمپر تجاوز کند جرقه در محل اتصالی دائمی میشود .در نتیجه محل اتصالی گسترش پیدا کرده وخسارت وارده جبران ناپذیر میگردد .

ترانسفورماتور نقطهٔ صفر از نوع ترانسفورماتور خشک است وولتاژ اتصال کوتاه آن در حدود $U_K = 0.04$ میباشد .این ترانسفورماتور بلافاصله بین نقطهٔ صفر اتصال ستارهٔ سیم پیچی ژنراتور وزمین نصب میشود .

در صورتی که سیم پیچی ژنراتور بطور مثلث بسته شده باشد، ولتاژ صفر توسط یک مثلث سه فاز بطور مصنوعی ایجاد میشود .

مثال : ژنراتوری با قدرت $25MW$ واختلاف فاز نامی $\cos\varphi = 0.8$ با ترانسفورماتوری به قدرت $31.5MVA$ بصورت یک واحد الکتریکی بسته شده است .ولتاژ نامی ژنراتور $10.5KV$ ونسبت تبدیل ترانسفورماتور $\frac{110}{10}KV$ میباشد. برای این ژنراتور باید وسیلهٔ حفاظت اتصال زمین با حدود حفاظت ۹۰٪ در نظر گرفته شود . مطلوبست:

الف- قدرت ترانسفورماتور نقطهٔ صفر ومقاومت بار

ب- ولتاژ خطا در موقع اتصال شبکه به زمین وتنظیم رله

حل :

$$u_1 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{100}{10} = 11$$

$$u_0 = \frac{U_G}{\sqrt{3}\cdot 100} = \frac{10500}{\sqrt{3}\cdot 100} = 60.5$$

ومقاومت بار، در صورتی که $K = 1.4$ و $C_T = 0.01\mu F$ در نظر گرفته شود و $a = 90\%$ باشد برابر است با :

$$R_2 = \frac{R_1}{u^2_1} = \frac{(100-a)}{K\cdot\omega\cdot C_T\cdot u_1\cdot u^2{}_0\cdot 100} = \frac{100-90}{1.4*100*314*0.01*10^{-6}*11*60.5^2} = 0.562\Omega$$

که ما آنرا 0.55 اهم انتخاب میکنیم .

ودر نتیجه جریان اتصال زمین در طرف ثانویه ترانسفورماتور نقطهٔ صفر برابر میشود با :

$$i'_{E\max} = \frac{U_{0\max}}{R_2} = \frac{100}{0.55} = 182A$$

$$i'_{E\min} = \frac{U_{0\min}}{R_2} = \frac{10}{0.55} = 18.2A$$

وجریان در طرف اولیه برابر است با :

$$I'_{E\max} = \frac{i'_{E\max}}{u_0} = \frac{182}{60.5} = 3.03A$$

$$I'_{E\min} = \frac{i'_{E\min}}{u_0} = \frac{18.2}{60.5} = 0.303A$$

وچنانچه دیده میشود ماکزیمم جریان اتصال زمین کمتر از۵ آمپر است وقدرت ترانسفورماتور صفر برابر است با :

$$N = \frac{U_G}{\sqrt{3}} \cdot I'_{E\max} = \frac{10500}{\sqrt{3}} * 0.303 = 18.4KVA$$

که ما قدرت ترانسفورماتور صفر را ۲۰کیلو ولت آمپر انتخاب میکنیم .

در صورتیکه اتصال زمین در طرف ولتاژ قوی (شبکه) اتفاق افتد جریان اتصال زمین برابر :

$$I_E = \frac{U_N}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot C_T \cdot 10^{-6} = \frac{115500}{\sqrt{3}} * 314 * 0.01 * 10^{-6} = 0.209$$

خواهد شد .در این رابطه بجای ولتاژ ۱۱۰کیلو ولت ماکزیمم ولتاژ از رابطهٔ زیر قرار داده شده است .

$$U_{N\max} = 1.05 * 110KV = 115.5KV$$

وچون مینیموم جریان اتصال زمین در صورتیکه اتصالی در ژنراتور اتفاق افتاده باشد برابر با0.303 آمپر میباشد، در اینصورت حفاظت بطریق صحیح عملی شده است واتصالی در شبکه سبب قطع بیموقع ژنراتور نمی گردد .در ضمن ولتاژ صفر در موقعی که شبکه اتصال زمین شده باشد برابر است با :

$$i_E = I_E \cdot u_0 = 0.209 * 60.5 = 12.7A$$
$$U_F = i_E \cdot R_2 = 12.7 * 0.55 = 7V$$

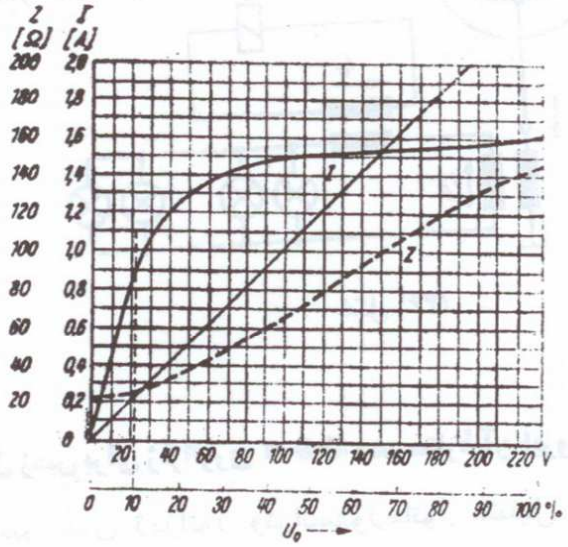
وچون حداقل ولتاز صفر در موقع اتصال زمین داخلی (اتصال زمین سیم پیچی ژنراتور) برابر با ۱۰ولت است، میتوان رله را بروی ۹ ولت تنظیم کرد .

-۲-۱-۲- استفاده از رلهٔ آمپریک در حفاظت اتصال زمین

همانطور که گفته شد، هر چه محل اتصالی به نقطهٔ صفر اتصال ستارهٔ سیم پیچی ژنراتور نزدیکتر شود جریان اتصال زمین کوچکتر میگردد، در صورتیکه اگر بخواهیم بکمک روش ولتمتری فوق بیش از ۹۰٪ سیم پیچی ژنراتور را در مقابل اتصال زمین حفاظت کنیم، بعلت ثابت بودن مقاومت بار، باید رله با جریان اتصال زمین خیلی زیاد کار کند ودر اینصورت قدرت ترانسفورماتور نقطهٔ صفر نیز زیاد میشود .

در مثال فوق اگر بخواهیم از ۹۵٪ سیم پیچی حفاظت کنیم، جریان اتصال زمین وقدرت ترانسفورماتور صفر دو برابر خواهد شد .لذا برای حفاظتهای بیش از ۹۰٪بهتر است بجای مقاومت ثابت از یک مقاومت متغیر که تغییرات آن تابعی از ولتاژ است استفاده شود . برای مقاومت متغیر وتابع ولتاژ میتوان از تعدادی مقاومت مخصوص که بصورت لامپ ساخته میشود بطور موازی استفاده کرد .

تغییرات ومشخصهٔ این مقاومت طوریست که در ولتاژ کم، جریان اتصال زمین نسبتاً زیادی عبور میکند ولی این جریان با ازدیاد تدریجی ولتاژ مانند شکل (۲۵) خیلی کم افزایش پیدا خواهد کرد.



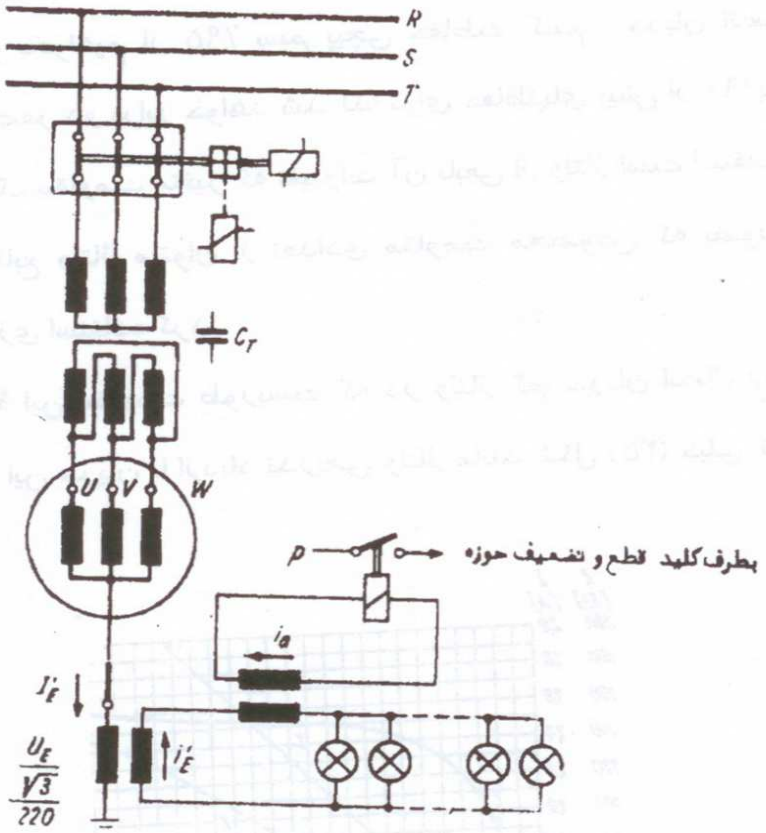
شکل (۲۵)

در این روش حفاظت، بجای رلهٔ ولتمتری از رلهٔ آمپریک استفاده میشود وآنرا بروی یک ترانسفورماتور جریان بین راه (ردوکتور)می بندند .

چون این مقاومتهای متغیر FeH بصورت لامپ میباشند وبرای ولتاژ ۲۲۰ولت ساخته شده است، باید ترانسفورماتور صفر در اینحالت بخصوص دارای نسبت تبدیل زیر باشد :

$$u = \frac{U_G / \sqrt{3}}{220V}$$

با استفاده از این روش می توان حفاظت را به ۹۵ درصد رسانید. این روش طبق شکل (۲۶) می باشد.

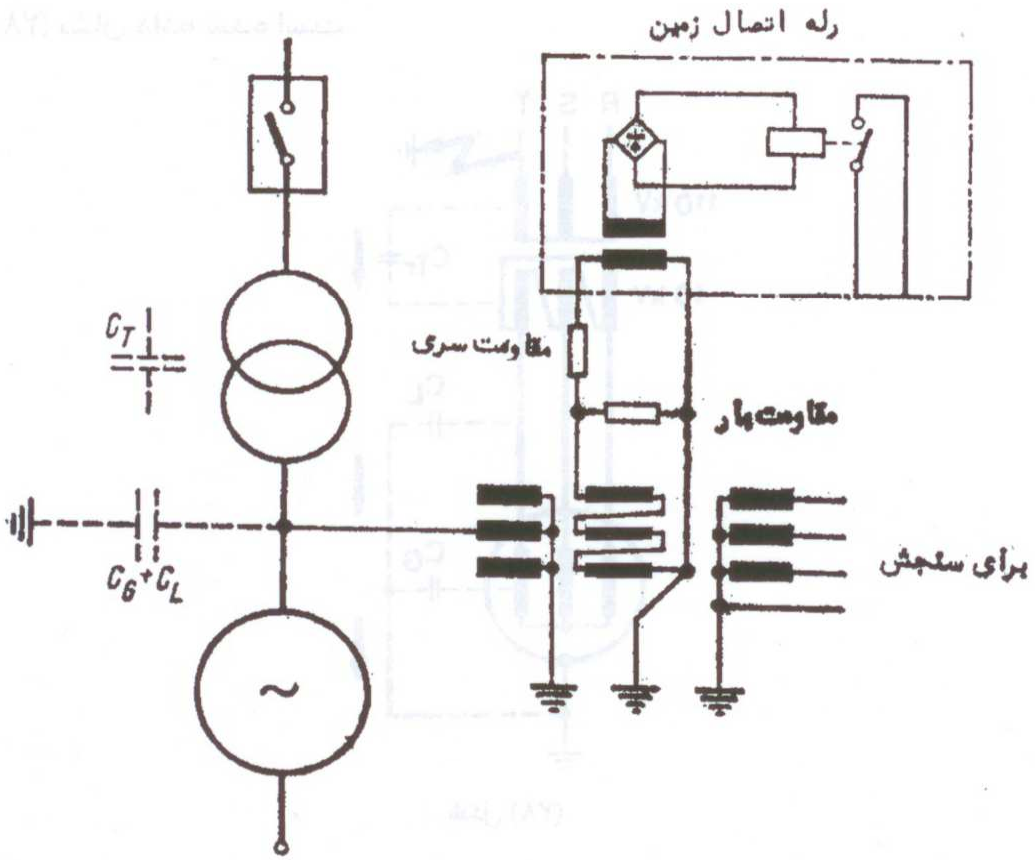


شکل (۲۶)

۴-۲-۱-۳- رلهٔ اتصال زمین برای ژنراتوری که نقطهٔ صفر ستارهٔ آن ایزوله باشد

در اینحالت نیز چون ژنراتور وترانسفورماتور تشکیل یک واحد را میدهند وارتباط طرف ولتاژ قوی وولتاژ ضعیف ترانسفورماتور توسط کاپاسیتهٔ ترانسفورماتور C_{Tr} برقرار میشود، اتصالی در ولتاژ قوی مستقیماً روی ولتاژ ضعیف مؤثر نمیباشد .از اینجهت میتوان بکمک ترانسفورماتور ولتاژ با سیم پیچی ثانویه مثلث باز، ولتاژ جابجایی را که در اثر اتصال بدنه در داخل ژنراتور ویا در اثر اتصال زمین یکی از سیمهای رابط بین ژنراتور و

ترانسفورماتور بوجود میاید مشخص کرده وتوسط یک رلهٔ ولتمتری ویا یک رلهٔ آمپریک مانند شکل (۲۷) سنجید.

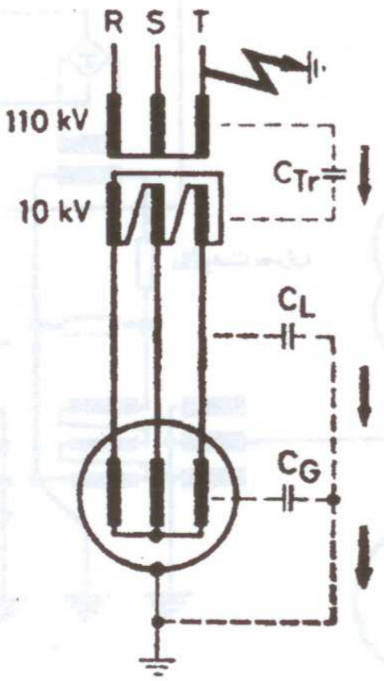


شکل (۲۷)

ولتاژجابجایی ایجاد شده در دو سر سیم پیچی باز ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ، همانطور که گفته شد متناسب با محل اتصالی شده از صفر تا $\frac{U_G}{\sqrt{3}}$ تغییر میکند وحساسیت رلهٔ اتصال زمین که بروی دو سر سیم پیچی مثلث باز بسته شده است باید بقدری باشد که در اثر اتصال زمین شدن شبکه عمل نکند .

اگر اتصالی در طرف ولتاژ قوی باشد، چون ولتاژ قوی وضعیف بطور خازنی بهم مربوطند، (کاپاسیتهٔ متقابل سیم پیچی ثانویه واولیه ترانسفورماتور C_T) باز هم یک اختلاف پتانسیلی بین دو سر سیم پیچی باز ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ ایجاد میشود که بزرگی آن بستگی به نسبت مقاومتهای خازنی C_T وکاپاسیتهٔ قسمت ولتاژ ضعیف نسبت بزمین دارد .

کاپاسیتهٔ قسمت ولتاژ ضعیف نسبت بزمین عبارتست از کاپاسیتهٔ بین سیم های رابط ژنراتور وترانسفورماتور نسبت بزمین C_L وکاپاسیتهٔ خود ژنراتور نسبت بزمین C_G که در شکل (۲۸) نشان داده شده است.



شکل (۲۸)

این ولتاژ که در حقیقت ولتاژ الکتریکی مزاحم میباشد سبب میشود که نتوان رلهٔ اتصال زمین را طوری تنظیم کرد که ۱۰۰٪ سیم پیچی ژنراتور در مقابل اتصال بدنه حفاظت شود .

اگر ولتاژ جابجایی در اثر اتصال زمین شدن شبکه U_M باشد .

$$U_M = \frac{U_{Tr}}{\sqrt{3}}$$

این ولتاژ بروی ظرفیت های C_{Tr} و $C_G + C_L$ به نسبت عکس ظرفیتها تقسیم میشود .

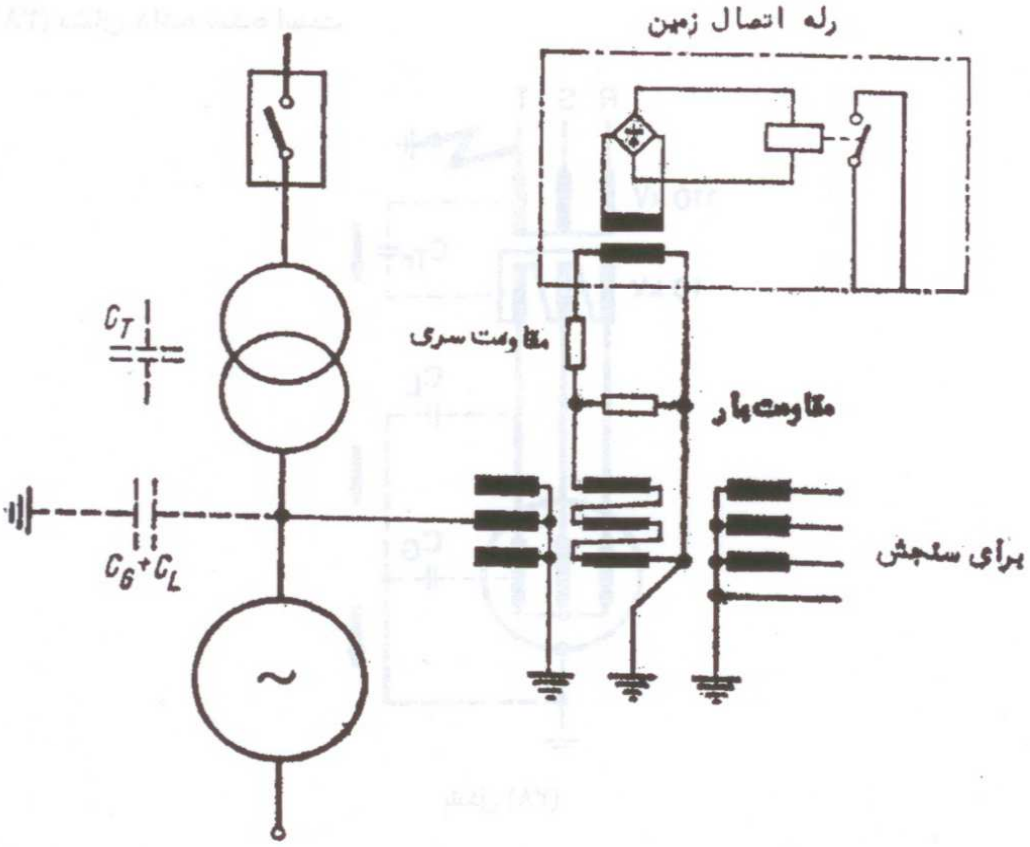
در اینصورت میتوان ولتاژ مزاحم U_{st}را بطریق زیر محاسبه نمود .

$$\frac{U_{st}}{U_M - U_{st}} = \frac{C_{Tr}}{C_G + C_L}$$

ویا

$$U_{st} = (U_M - U_{st})\frac{C_{Tr}}{C_G + C_L}$$

ترانسفورماتور بوجود میاید مشخص کرده وتوسط یک رلهٔ ولتمتری ویا یک رلهٔ آمپریک مانند شکل (۲۷) سنجید.



شکل (۲۷)

ولتاژجابجایی ایجاد شده در دو سر سیم پیچی باز ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ، همانطور که گفته شد متناسب با محل اتصالی شده از صفر تا $\frac{U_G}{\sqrt{3}}$ تغییر میکند وحساسیت رلهٔ اتصال زمین که بروی دو سر سیم پیچی مثلث باز بسته شده است باید بقدری باشد که در اثر اتصال زمین شدن شبکه عمل نکند .

اگر اتصالی در طرف ولتاژ قوی باشد، چون ولتاژ قوی وضعیف بطور خازنی بهم مربوطند، (کاپاسیتهٔ متقابل سیم پیچی ثانویه واولیه ترانسفورماتور C_T) باز هم یک اختلاف پتانسیلی بین دو سر سیم پیچی باز ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ ایجاد میشود که بزرگی آن بستگی به نسبت مقاومتهای خازنی C_T وکاپاسیتهٔ قسمت ولتاژ ضعیف نسبت بزمین دارد .

$$U_{st} = U_M \frac{C_{Tr}}{C_G + C_L + C_{Tr}}$$

وچنانچه دیده میشود میتوان ولتاژ مزاحم را بکمک بزرگ کردن کاپاسیتهٔ سیم رابط بین ژنراتور وترانسفورماتور،توسط طویل انتخاب کردن کابل بمقدار قابل ملاحظه ای کوچک کرد .

با توضیحاتی که داده شد، معلوم میشود که در این روش نیز باید رلهٔ اتصال زمین دارای حساسیت خاصی باشد .

در صورتیکه از رلهٔ الکترومغناطیسی بعنوان رلهٔ اتصال زمین استفاده شود میتوان ۸۰٪ سیم پیچی را حفاظت نمود .با استفاده از رلهٔ قاب گردان میتوان حفاظت را تا ۹۰٪انجام داد ولی باید جهت یکطرفه کردن جریان طبق شکل (۲۷) از یکسو کننده استفاده کرد .

این تغییرحساسیت دردو دستگاه فوق همانطورکه میدانیم به این جهت است که دستگاه الکترومغناطیسی متناسب با مجذور جریان ودستگاه قاب گردان متناسب با خود جریان کار میکند .

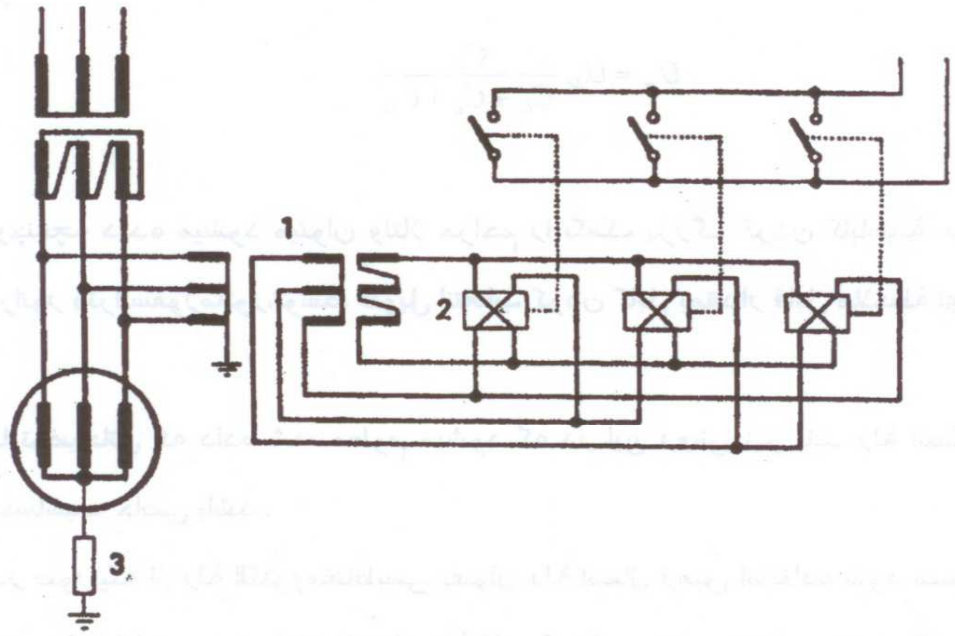
در ضمن در صورتیکه از رلهٔ الکترودینامیکی جهت حفاظت اتصال زمین استفاده شود . میتوان حدود سنجش وحفاظت را تا ۹۰ درصد بالا برد .شکل(۲۹) طرز اتصال رلهٔ الکترودینامیکی را جهت حفاظت اتصال زمین نشان میدهد .

در این شکل :

۱-ترانسفورماتور ولتاژ با سیم پیچی مثلث باز

۲- رلهٔ الکترودینامیکی

۳-مقاومت اهمی برای کوچک کردن ولتاژ مزاحم U_{st}



شکل (۲۹)

چنانچه دیده میشود دو سیم پیچی رلهٔ الکترودینامیکی یکی بروی ولتاژ جابجا شدهٔ نقطهٔ صفر ودیگری بروی ولتاژ ثابت ومعین بسته میشود .برای بالا بردن حساسیت دستگاه باید هر دو ولتاژ با هم همفاز ویا دارای اختلاف فاز جزیی باشند وچون جهت بردار جابجایی بستگی به فازی دارد که اتصال زمین شده است، لذا میتوان از سه رلهٔ الکترودینامیکی استفاده کرد که یکی از سیم پیچی های آنها بطور موازی از ولتاز جابجا شدهٔ نقطهٔ صفر از دو سر سیم پیچی مثلث باز تغذیه میشود وسیم پیچی های دیگر بترتیب از ولتاژ شبکه نیرو میگردند .در اینصورت هر فازی مانند شکل (۲۸) دارای رلهٔ مربوط بخود خواهد بود .

۴-۲-۱-۴- حفاظت ۱۰۰ درصد اتصال زمین ژنراتور

اغلب این فکر پیش میاید که آیا باید حفاظت را طوری انجام داد که ۱۰۰٪سیم پیچی ژنراتور (تمام سیم پیچی)در مقابل اتصال بدنه حفاظت شود یا ۹۰٪حفاظت که بوسیله دستگاههای فوق انجام میگیرد کافی است .

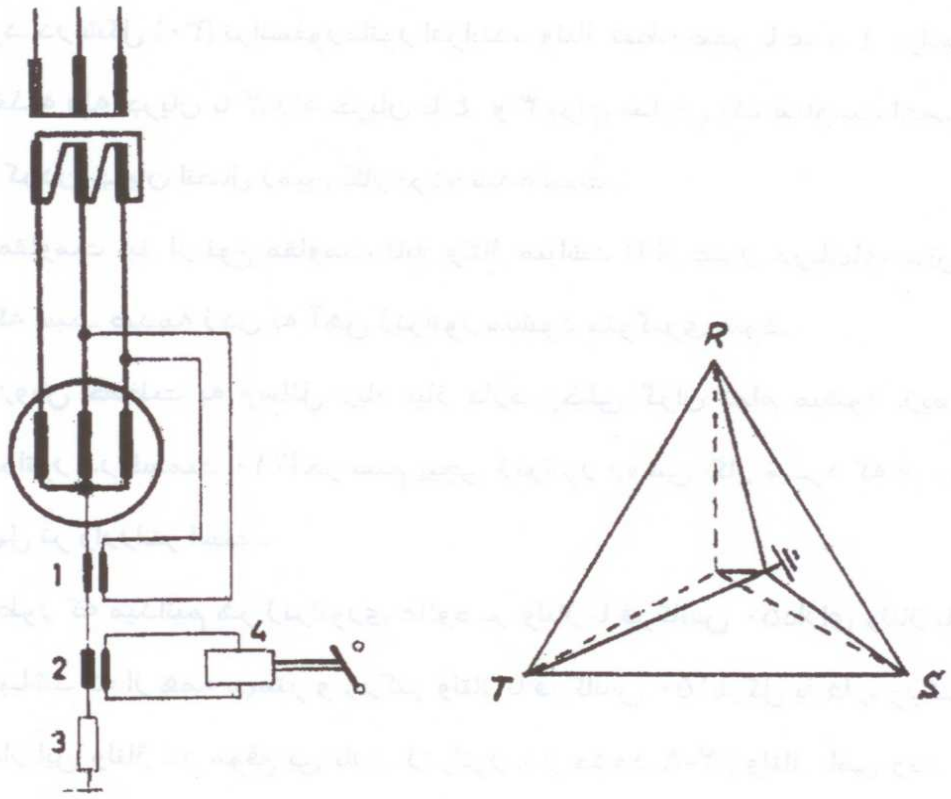
تجربه نشان داده است که امکان اتصال زمین در قسمتهایی از سیم پیچی ژنراتور که از نقطه ستاره دور است خیلی زیاد و در نزدیکیهای نقطه صفر به قدری کم است که می توان گفت امکان آن تقریباً وجود ندارد.

از این جهت اتصال زمین در قسمتهای نزدیک اتصال ستارهٔ سیم پیچی حتی تا قسمتهای ۲۰٪ولتاژ نیز از محالات است .این موضوع با در نظر گرفتن اینکه عایق سیم پیچی ها در تمام قسمتهای سیم پیچی یکسان است کاملاً روشن بنظر میرسد .

در ضمن در صورت وقوع یک چنین اتصالی در قسمتهای نزدیک نقطهٔ صفر ستاره، جریان اتصالی بقدری کم است که نمی تواند باعث خراب شدن هستهٔ آهن ژنراتور گردد .

ولی همانطور که گفته شد این جریان اغلب باعث خراب کردن عایق در محل اتصالی وسرایت آن به قسمتهای دیگر میشود وممکن است سبب اتصال دو فاز گردد .از اینجهت است که باید حتی اگر اتصالی در نزدیکی نقطهٔ صفر هم باشد، بوجود آن پی برد، آنرا سنجید وژنراتور رااز کار انداخت ورفع اتصالی کرد .

جهت حفاظت ۱۰۰ درصد اتصالی سیم پیچی استاتور ژنراتور با بدنه ماشین، معمولاً پتانسیل نقطه صفر ژنراتور را که به زمین وصل است مانند شکل (۳۰) توسط یک ولتاژ خارجی تغییر میدهند .



شکل (۳۰)

چنانچه دیده میشود، ما بین اتصال ستارهٔ ژنراتور وزمین، یک ترانسفورماتور ولتاژ نصب شده است .این ترانسفورماتور که توسط ولتاژ همبستگی ژنراتور تغذیه میشود، سبب بالا بردن اختلاف سطح نقطهٔ صفر ستارهٔ ژنراتور میشود .

ولی بمحض اینکه اتصالی در داخل ژنراتور اتفاق افتد، جریان بحدی خواهد رسید که سبب بکار انداختن رلهٔ جریانی که برای حفاظت ژنراتور بکار برده شده است میشود .معمولاً بتوسط ترانسفورماتور ولتاژ اضافی میتوان ولتاژ نقطهٔ صفر را تا ۱۰٪ولتاژ نامی ژنراتور بالا برد .

همانطور که از شکل (۳۰) ملاحظه میشود، بین اتصال ستاره ژنراتور و زمین، یک ترانس افزاینده ولتاژ نقطه صفر (مشخص شده با عدد۱) نصب شده که باعث بالا بردن اختلاف سطح نقطه صفر ستاره ژنراتور میشود. ولی به محض اینکه اتصال در داخل ژنراتور اتفاق افتد، جریان بحدی میرسد که سبب بکار انداختن رله جریانی که برای حفاظت ژنراتور بکار برده شده است میشود.

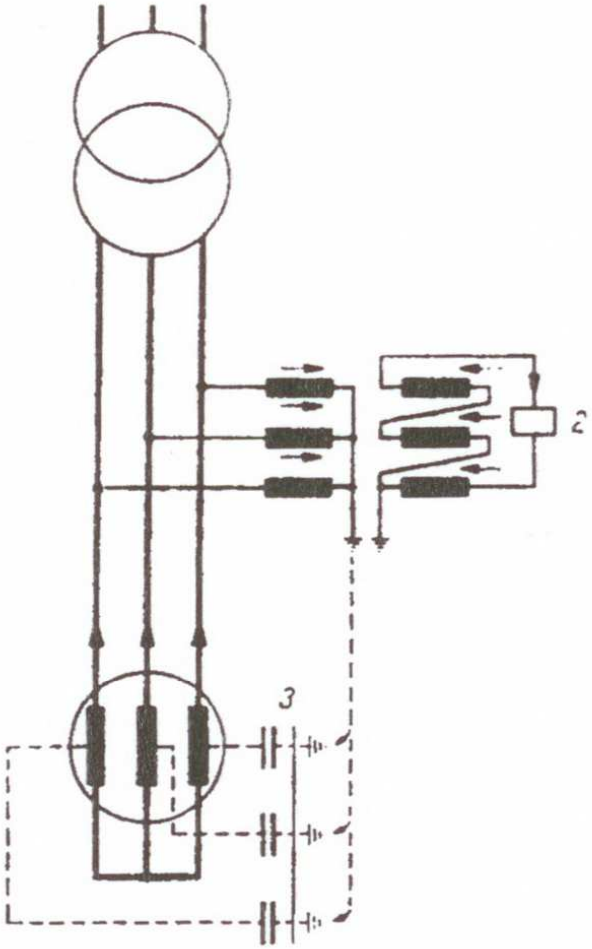
معمولاً توسط تراسفورماتور ولتاژ اضافی میتوان ولتاژ نقطه صفر را تا ۱۵درصد ولتاژ نامی ژنراتور بالا برد. در شکل (۳۰) ترانسفورماتور افزاینده ولتاژ نقطه صفر با عدد ۱، ترانسفورماتور جریان برای تغذیه رله جریان با ۲، رله جریان با ٤ و ۳ برای نمایش یک مقاومت اهمی است که جهت محدود کردن جریان اتصال زمین بکار برده شده است .

این مقاومت نیز از نوع مقاومت تابع ولتاژ میباشد تا از عبور جریانهای بیش از حد و خطرناک که سبب صدمه زدن به آهن ژنراتور میشود جلوگیری شود.

این روش حفاظت به وسائل زیاد نیاز دارد وخیلی گران تمام میشود .زیمنس برای حفاظت ژنراتور در قسمت ۱۰٪آخر سیم پیچی ژنراتور روشی بکار میبرد که از روش فوق بمراتب سهل تر وارزانتر است .

همانطور که میدانیم هر ژنراتوری علاوه بر ولتاژ با فرکانس ۵۰دارای ولتاژ با فرکانس بالاتر نیز میباشد که از همه مهمتر وبزرگتر ولتاژ با فرکانس ۱۵۰سیکل یا هارمونیک ک سوم است . مقدار این ولتاژ در موقع بی باری ژنراتور ،در حدود ۵-۲٪ ولتاژ نامی ودر حالت بار نامی قدری بزرگتر است .

از این ولتاژ میتوان جهت تشخیص اتصال بدنه در حوالی نقطهٔ صفر سیم پیچی ژنراتور استفاده کرد. این ولتاژ را میتوان در دو سر سیم پیچی ثانویه مثلث باز یک ترانسفورماتور ولتاژ مانند شکل(۳۱) بدست آورد .



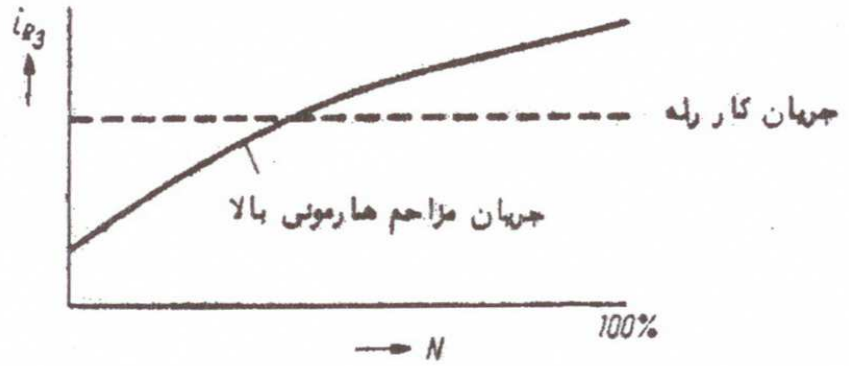
شکل (۳۱)

چنانچه شکل(۳۱) نشان میدهد این جریانهای با هارمونیک سوم از ترانسفورماتور ولتاژ میگذرند ودر سیم پیچی باز ثانویه آن ایجاد یک ولتاژ با هارمونیک سوم میکند که البته از نظر قدر مطلق خیلی کوچکتر از حالتی است که یک اتصال زمین در محل اتصال ستاره یا در حوالی آن ایجاد شود ،زیرا اختلاف سطحی که در دو سر سیم پیچی باز ثانویه ترانسفورماتور ایجاد میشود بستگی به جریانی که از سیم پیچی اولیه آن میگذرد دارد .این جریان در موقعی که نقطهٔ صفر ستاره یا حوالی آن بزمین وصل شده باشد بمراتب بیشتر از حالتی است که جریان از مقاومتهای خازنی بین سیم پیچها وزمین عبور کند .

برای سنجش ولتاژ هارمونیک سوم معمولاً از یک رلهٔ جریان زیاد استفاده میشود . بطوریکه رلهٔ جریان زیاد را با یک مقاومت اهمی در دو سر سیم پیچی مثلث باز وصل میکنند وبرای اینکه فقط جریانی که در اثر ولتاژ با فرکانس ۱۵۰بوجود میاید از رله عبور کند ،یک سد فرکانس بالا نیز در مدار رله اضافه میشود .

در صورتیکه ژنراتور بدون بار باشد همانطور که گفته شد ولتاژ با فرکانس ۱۵۰خیلی کوچک است ولی در موقعی که از ژنراتور بار گرفته شود ولتاژ الکتریکی هارمونیک های بالا مخصوصاً هارمونیک سوم نیز زیاد میشود تا جایی که در اغلب ماشینها باعث بکار انداختن نابجای رلهٔ اصلی اتصال زمین میگردد .

این جواب دادن رله در مقابل ولتاژ هارمونیکهای بالا را باید بوسیله ای بدون اینکه حساسیت رله کم شود از بین برد .زیرا کم شدن حساسیت رله مثل این میماند که حفاظت آن محدود شده باشد .شکل (۳۲) جریان هارمونیک های بالا را نسبت به بار ژنراتور وهمچنین جریانی را که رله بازای آن عمل میکند نشان میدهد .



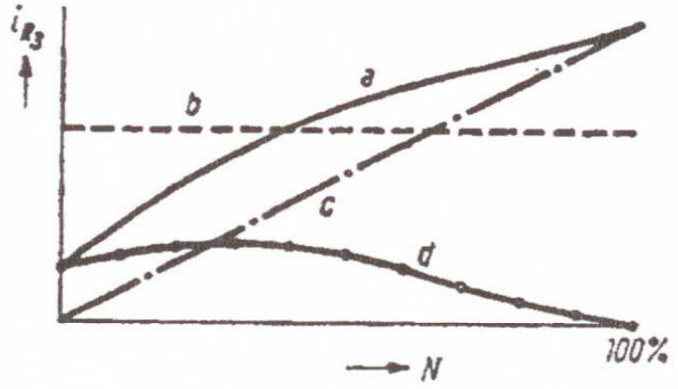
شکل (۳۲)

چنانچه دیده میشود جریان با فرکانس ۱۵۰سیکل میتواند از جریانی که جهت بکار انداختن رله لازم است خیلی بیشتر شود.

بوسیلهٔ یک دستگاه پتانسیومتری میتوان این اضافه شدن جریان هارمونیک سوم بازای بارهای زیاد را تقریباً از بین برد .به این طریق که جریانی را که متناسب با جریان بار وبه اندازه قدر مطلق شدت جریان هارمونیک سوم باشد وبا آن ۱۸۰ درجه نیز اختلاف فاز دارد،

از رلهٔ اتصال زمین عبور می دهیم. این جریان اثر جریان هارمونیک سوم را در بارهای زیاد بکلی خنثی میکند. شکل(۳۳)

از آنجا که ترقی جریان هارمونیک سوم با اضافه شدن بار خیلی زیاد است ولی ترقی جریان مزاحم بعلت ثابت بودن کاپاسیته ژنراتور در هر حال خیلی کمتر از جریان هارمونیک سوم در حالت اتصالی شدن نقطهٔ صفر ،یا حوالی نقطه صفر میباشد ،میتوان حتی جریانی را که برای از بین بردن جریان هارمونیک سوم در بارهای بالا وبدون عیب ماشین بکار میرود طوری انتخاب کرد که از جریان هارمونیک سوم نیز قدری بیشتر باشد بطوریکه همیشه یک جریان اضافی در رله باقی بماند .در شکل(۳۳) این جریان اضافی باقیمانده با d نشان داده شده است. a جریان هارمونیک سوم مزاحم وb جریان شروع کار رله وc جریان خنثی کننده میباشد .بدینوسیله میتوان مطمئن بود که رله هیچگاه سبب قطع بیجای ژنراتور نخواهد شد. از آنچه گفته شد میتوان نتیجه گرفت که کلیه اتصال زمینهایی که در ۹۰٪ حلقه های سیم پیچی ژنراتور بوجود میاید بتوسط سنجش ولتاژ جابجایی واتصال زمینهایی که در ۱۰٪حلقه های نزدیک به نقطهٔ صفر ستارهٔ سیم پیچی ژنراتور بوجود میاید ،بوسیله موج هارمونیک سوم سنجیده ومشخص میشود .



شکل (۳۳)

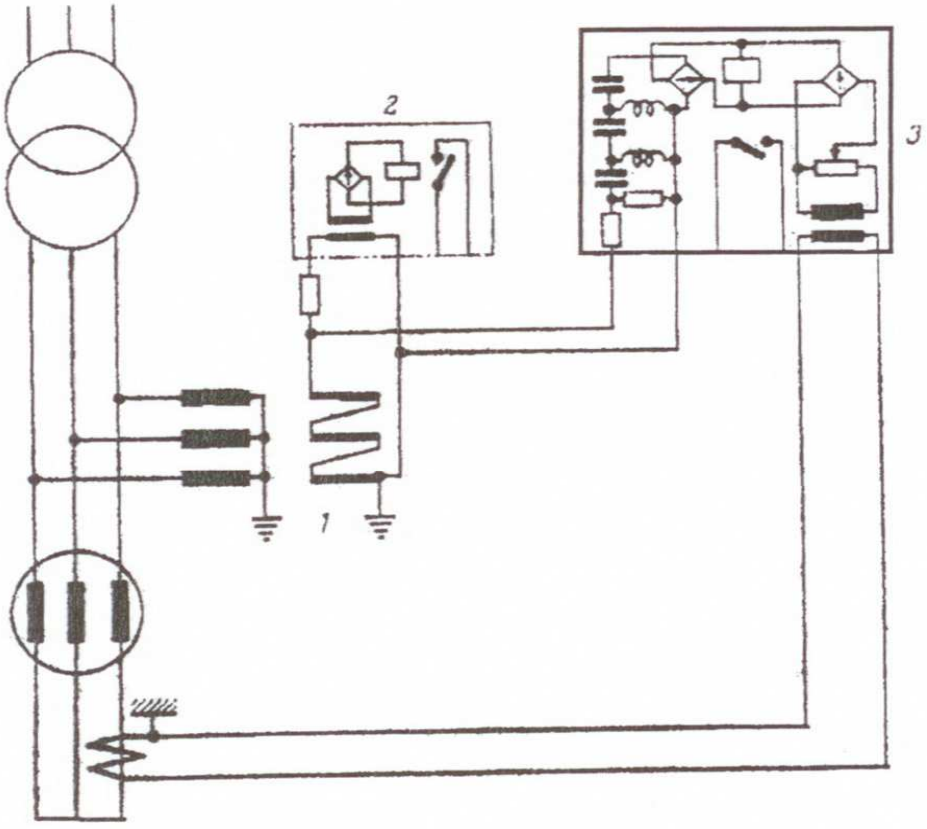
همانطور که میدانیم اتصال زمین در نقطهٔ صفر یا در حوالی صفر اولاً خیلی بندرت پیش میاید ودر ثانی اگر اتفاق افتد تا مدتی خطرناک نمیباشد .از اینجهت بهتر است که اصولاً رلهٔ حفاظتی اتصال زمین در حوالی پتانسیل صفر را از قسمتهای دیگر ژنراتور مجزا کرد . باین دلیل برای حفاظت این دو قسمت از دو دستگاه حفاظتی مجزا استفاده میشود .

دستگاهی که حفاظت ۹۰٪ سیم پیچی را بعهده دارد بمحض عمل کردن ،ژنراتور را از مدار خارج میکند وتحریک را بر میدارد .ودستگاهی که حفاظت ۱۰٪ سیم پیچی نزدیک به نقطهٔ صفر ستاره را بعهده دارد در موقع اتصالی بوسیله بوق ویا سیگنال ظهور اتصالی را خبر میدهد .

مخصوصاً در حالتیکه ژنراتور شبکهٔ بزرگی را تغذیه میکند ،(بوسیله چندین ژنراتور). بسیار لازم است که غفلتاً توان قابل ملاحظه ای بعلت یک اتصال زمین ناچیز قطع نگردد .

شکل (۳٤) دستگاه حفاظت اتصال بدنهٔ ژنراتور را که شامل دو دستگاه حفاظتی مجزا یکی برای حفاظت از ۰-۱۰٪ ودیگری برای حفاظت از ۱۰-۱۰۰٪ میباشد، نشان میدهد .

در این شکل رلهٔ ۲ جهت حفاظت دستگاه در قسمت ولتاژ ۱۰٪ به بالا میباشد ورلهٔ ۳ قسمت ۱۰٪ به پایین را حفاظت میکند. چون رلهٔ ۳ فقط با موج هارمونیک سوم باید کار کند، لذا بوسیله سد فرکانسی از عبور جریانهای فرکانس ۵۰ یا کمتر بداخل رله جلوگیری شده است.



شکل (۳٤)

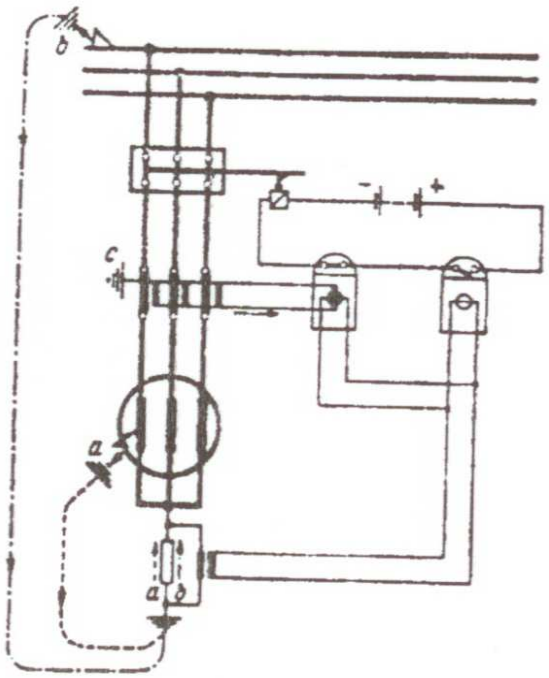
۴-۲-۲- حفاظت اتصال بدنه ژنراتورهایی که مستقیماً شین را تغذیه میکند

اگر ژنراتور مستقیماً روی شین کار کند، سنجش ولتاژ جابجائی نقطه صفر به تنهایی جهت تعیین اتصال بدنه در داخل ژنراتور کافی نیست زیرا ولتاژ صفر در موقعی که اتصالی در شبکه نیز اتفاق افتد به همان بزرگی است که اتصال در شین های ژنراتور اتفاق می افتد .

۴-۲-۲-۱- حفاظت ژنراتوری که نقطه صفر ستاره آن را بتوان زمین نمود

الف- استفاده از رله ولتمتری به عنوان رله قطع کننده و رله واتمتری به عنوان رله سد کننده

در این حالت مطابق شکل(۳۵) از یک رله ولت متری به عنوان رله قطع کننده استفاده می شود.درموقع اتصال سیم پیچی ژنراتوربابدنه ماشین،اختلاف سطحی که در دو سر ترانسفورماتور صفر تولید میشود سبب بکار انداختن رله ولت متری می شود. ولی از آنجا که اتصال زمین در شبکه نیز میتواند سبب بکار انداختن رله ولت متری شود، لذا برای جلوگیری از قطع بی موقع ژنراتور از یک رله وات متری نیز کمک گرفته میشود بطوریکه سیم پیچی ولتاژ رله وات متری توسط ترانسفورماتور صفر و سیم پیچی جریان توسط برآیند جریانهای سه فاز خروجی ژنراتور تغذیه میشود.



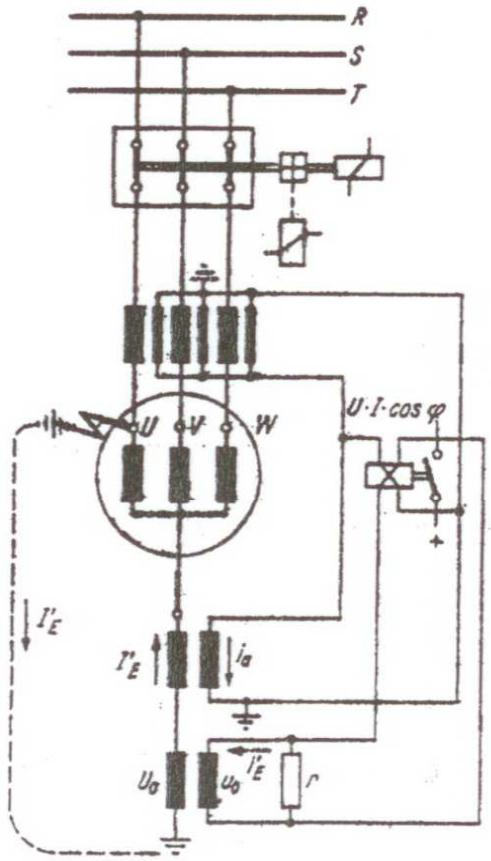
شکل (۳۵)

برآیند جریانها توسط سه ترانسفورماتور جریان که در طرف ثانویه به صورت موازی بسته شده است بوجود می آید و چنانچه دیده میشود اگر اتصالی در شبکه اتفاق افتد بعلت عبور جریان از محل اتصالی به نقطه صفر ژنراتور، برآیند جریانها در دو سر سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور جریان، صفر نشده و رله وات متری در اثر گرفتن جریان و ولتاژ عمل میکند و مدار بوبین قطع کننده کلید اصلی ژنراتور باز میشود .

مقاومتی که بین نقطه صفر ژنراتور و زمین قرار دارد برای محدود کردن جریان اتصال زمین و جلوگیری از خطرات بعدی آن بکار برده شده است .

ب- استفاده از یک رلهٔ واتمتری

چنانچه از شکل (۳۶) دیده میشود سیم پیچی جریان رلهٔ واتمتری بروی تفاوت جریان بسته شده است وسیم پیچی ولتاژ رله توسط ترانسفورماتور نقطهٔ صفر تغذیه میشود که دارای بار اهمی r است .



شکل (۳۶)

بار اهمی را طوری حساب میکنند که جریان اتصال زمین در موقع اتصال زمین شدن شبکه از 5 آمپر تجاوز نکند .

وسائلی که جهت حفاظت ژنراتور در اینحالت بکار رفته است عبارتست از :

- ترانسفورماتور نقطهٔ صفر
- سه ترانسفورماتور جریان که در طرف خروجی سه فاز ژنراتور نصب شده واز طرف ثانویه موازی بسته شده است .
- یک ترانسفورماتور جریان کمکی که مابین نقطهٔ صفر ستارهٔ ژنراتور و ترانسفورماتور نقطهٔ صفر قرار دارد.
- یک رلهٔ الکترودینامیکی که با یک رلهٔ زمانی مجموعاً رله اتصال زمین را تشکیل میدهد .

چنانچه دیده میشود سیم پیچی جریان رلهٔ واتمتری بصورت رلهٔ دیفرانسیل ما بین مدار ترانسفورماتورهای جریان بسته شده است وفقط موقعی میتواند کار کند که منتجهٔ جریانها در دو طرف صفر نشود وچون در موقعی که اتصال زمین در شبکه باشد،منتجهٔ جریانها در دو طرف ژنراتورصفرمیشود،رله نمیتواندکارکند.البته این درصورتیست که نسبت تبدیل ترانسفورماتور سد کننده وترانسفورماتور قطع کننده برابر باشد. اغلب بجهت اطمینان بیشتر ضریب تبدیل ترانسفورماتور جریان سد را طوری انتخاب میکنند که رابطه زیر برقرار باشد تا هیچوقت سبب قطع بیموقع رله نشود:

$$\frac{u_S}{u_A} = \frac{1}{2}$$

نظر باینکه رلهٔ واتمتری در حقیقت یک رلهٔ جهت دار است آن طوری تنظیم میکنند که نتواند با جریان سد عمل کند .در ضمن چون در اینجا از رلهٔ واتمتری استفاده شده است ،باید رله حاصلضرب $U \cdot I \cdot \cos\varphi$ را بسنجد. از اینجهت باید سعی کرد که جریان I'_E حتی المقدور با ولتاژ $U_\circ$ هم فاز شود .باینجهت از مقاومت اهمی r در ترانسفورماتور نقطهٔ صفر استفاده شده است .

مقاومت بار ترانسفورماتور صفر همانطور که قبلاً نیز حساب شده برابر است با :

$$R_2 = \frac{(100-a)\cdot U_\circ}{100\cdot u_\circ^{\,2}\cdot I'_E}$$

در این رابطه $u_\circ$ عبارتست از نسبت تبدیل ترانسفورماتور صفر وa عبارتست از حدود حفاظت که معمولاً 90% انتخاب میشود و I'_E عبارتست از جریان اتصال زمین که معمولاً نباید از 5 آمپر تجاوز کند و $U_\circ$ عبارتست از ولتاژ صفر وبرابر است با :

$$U_\circ = \frac{U_G}{\sqrt{3}}$$

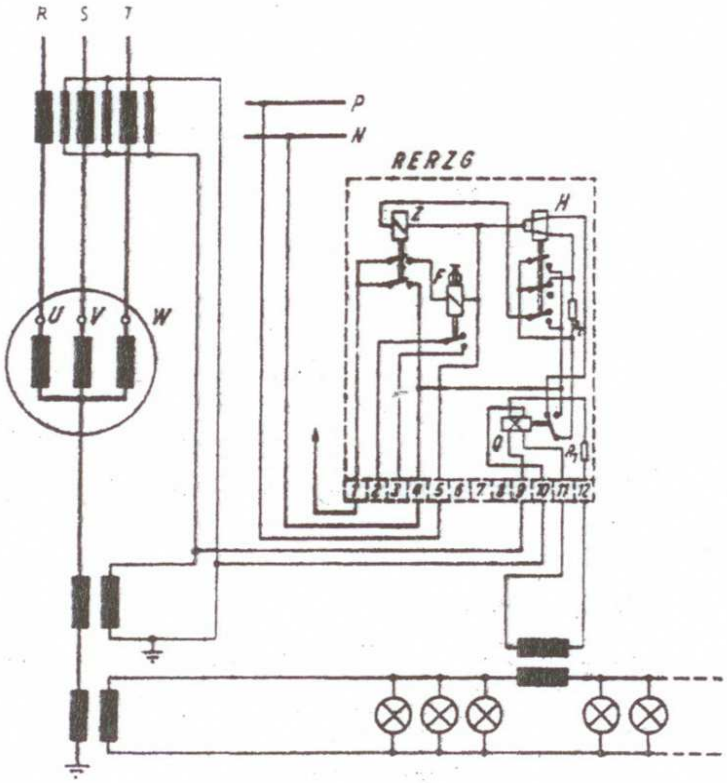
برای اینکه جریان اتصال زمین در حالتی که اتصالی در شبکه اتفاق افتاده باشد ویا در حالتی که در نزدیکیهای نقطهٔ ستاره ،زمین شده باشد با هم خیلی متفاوت نباشد ، بجای مقاومت ثابت r از یک مقاومت متغیر استفاده میشود. مثلاً آ ا گ از لامپ FeH استفاده میکند که منحنی مشخصهٔ آن طبق شکل (۲۵) میباشد .چنانچه دیده میشود جریان این لامپها در ضمن تغییرات ولتاژ از 60 تا 220 ولت فقط از 1.4 تا 1.6 آمپر تغییر میکند .برای اینکه جریان اتصال زمین اولیه از ۵آمپر تجاوز نکند باید تعداد معینی از این لامپها را با هم موازی وصل کرد .تعداد مقاومتهای موازی برابر است با :

$$n = \frac{I'_{E\max}\cdot u_\circ}{i_n}$$

در این رابطه $I'_{E\max}$ عبارتست از جریان اتصال زمین در موقعی که اتصالی در شبکه باشد . i_n عبارتست از جریان یکی از لامپها در ولتاژ 220 ولت .

و $u_\circ = \frac{U_G/\sqrt{3}}{220}$ عبارتست از نسبت تبدیل ترانسفورماتور صفر .

شکل (۳۷) طرز اتصال چنین رله را نشان میدهد .



شکل (۳۷)

این دستگاه تشکیل شده از یک رلهٔ واتمتری ویک رلهٔ زمانی ودو رلهٔ کمکی .

مثال :

در یک کارخانه قند نیشکر یک ژنراتور با قدرت 25 مگا وات و با $\cos\varphi = 0.8$ نصب شده است . ولتاژ شبکهٔ نامی ژنراتور 6.3KV است .این ژنراتور مستقیماً شبکهٔ کارخانه را تغذیه میکند وباید دارای دستگاه حفاظت اتصال زمین در حدود 90% باشد .شبکهٔ 6 کیلو ولت کارخانه کوچک ودارای کاپاسیتهٔ زمین کمی است .

جریان اتصال زمینی که در اثر اتصال شبکه بوجود میاید 4 آمپر است .مطلوبست مشخصات ترانسفورماتورهای جریان وترانسفورماتور نقطهٔ صفر ومقاومت بار اگر بخواهیم از رلهٔ شکل(۳۸) استفاده نمائیم .

حل :

نسبت تبدیل ترانسفورماتور نقطهٔ صفر $u_\circ$ برابر است با :

$$u_\circ = \frac{U_G/\sqrt{3}}{220} = 16.5$$

ماکسیموم جریان اتصال زمین $I'_{E\max}$ در موقعی که اتصالی در شبکه باشد باید از 5 آمپر تجاوز نکند در ضمن ولتاژ ماکسیموم برابر است با :

$$U_{o\max} = \frac{U_G}{\sqrt{3}} = \frac{6300}{\sqrt{3}} = 3640v$$

پس قدرت ترانسفورماتور صفر برابر است با :

$$N_\circ = U_{\max} \cdot I'_{E\max} = 3640 * 5 = 18200VA$$

که ما آنرا 20KVA انتخاب میکنیم .

جریان ثانویه ترانسفورماتور صفر در صورتی که اتصال زمین بلافاصله بعد از ژنراتور باشد برابر است با :

$$i'_{E\max} = I'_{E\max} \cdot u_\circ = 5 * 16.5 = 82.5A$$

از روی منحنی مشخصات شکل(۲۵) لامپ FeH در ولتاژ 220 ولت ،جریانی بشدت 1.6A میکشد ، لذا تعداد لامپهای لازم برابر است با :

$$n = \frac{I'_{E\max} \cdot u_\circ}{i_n} = 51.5$$

که ما آنرا 51 عدد انتخاب میکنیم .این لامپها بطور موازی بسته میشوند .

مشخصات ردو کتور :

نسبت تبدیل نامی ترانسفورماتور جریان طبق جدول مشخصات کارخانهٔ سازنده انتخاب میشود .مثلاً با نسبت تبدیل $20A/0.15A$ و قدرت 15VA ودر اینصورت اگر 13 لامپ FeH را بعد از ردو کتور قرار دهیم ، جریانی که از سیم پیچی اولیهٔ ردوکتور میگذرد برابر است با :

$$13 * 1.6 = 20.8$$

که با مشخصات ردو کتور مطابقت دارد (طبق مشخصات 20 آمپر).

حال اگرمصرف سیم پیچی ولتاژ رلهٔ اتصال زمین 15VA وولتاژ نامی آن برابر 100V باشد، جریانی که رله میکشد برابر میشود با :

$$i_R = \frac{N_R}{u_R} = \frac{15VA}{100V} = 0.15A$$

در اینصورت نسبت تبدیل ردوکتور برابر خواهد شد با :

الف –نسبت تبدیل جریانها :

$$u_i = \frac{n \cdot i_n}{i_R} = \frac{13*1.6}{0.15} = 138$$

بطوریکه مطابق مشخصات موجود در کاتالوگ دستگاه نسبت تبدیل ردوکتور موجود 138 میباشد.

ب- نسبت جریان به ولتاژ:

$$u_u = \frac{n \cdot i_n}{U_R} = \frac{13*1.6}{100} = 0.208A/V$$

که طبق مشخصات $u_u = 0.2A/V$ میباشد .

طبق منحنی مشخصات لامپ FeH که در شکل(۲۵) داده شده است ،در موقعی که اتصال بدنه در 10% سیم پیچی به طرف نقطهٔ صفر ستاره باشد $(u_\circ = 22V)$ ، جریان لامپ برابر 0.9 آمپر است وچون ما 51 لامپ بطور موازی بسته بودیم ،جریان کل در حالت مینیموم برابر است با :

$$i'_{E\min} = i_{n\min} \cdot n = 0.9 * 51 = 46A$$

این جریان سبب عبور جریان اولیه اتصال زمین میشود که برابر است با :

$$I'_{E\min} = \frac{i'_{E\min}}{u_\circ} = \frac{46}{16.5} = 2.8A$$

وچون 13 لامپ پشت سر ردوکتور بسته شده است جریان مینیموم ردو کتور برابر است با :

$$i_{1Red} = 0.9 * 13 = 11.7A$$

که با مشخصات ردو کتور مطابقت دارد (طبق مشخصات 20 آمپر).

حال اگرمصرف سیم پیچی ولتاژ رلهٔ اتصال زمین 15VA وولتاژ نامی آن برابر 100V باشد، جریانی که رله میکشد برابر میشود با :

$$i_R = \frac{N_R}{u_R} = \frac{15VA}{100V} = 0.15A$$

در اینصورت نسبت تبدیل ردوکتور برابر خواهد شد با :

الف –نسبت تبدیل جریانها :

$$u_i = \frac{n \cdot i_n}{i_R} = \frac{13*1.6}{0.15} = 138$$

بطوریکه مطابق مشخصات موجود در کاتالوگ دستگاه نسبت تبدیل ردوکتور موجود 138 میباشد.

ب- نسبت جریان به ولتاژ:

$$u_u = \frac{n \cdot i_n}{U_R} = \frac{13*1.6}{100} = 0.208A/V$$

که طبق مشخصات $u_u = 0.2A/V$ میباشد .

طبق منحنی مشخصات لامپ FeH که در شکل(۲۵) داده شده است ،در موقعی که اتصال بدنه در 10% سیم پیچی به طرف نقطهٔ صفر ستاره باشد $(u_\circ = 22V)$ ، جریان لامپ برابر 0.9 آمپر است وچون ما 51 لامپ بطور موازی بسته بودیم ،جریان کل در حالت مینیموم برابر است با :

$$i'_{E\min} = i_{n\min} \cdot n = 0.9*51 = 46A$$

این جریان سبب عبور جریان اولیه اتصال زمین میشود که برابر است با :

$$I'_{E\min} = \frac{i'_{E\min}}{u_\circ} = \frac{46}{16.5} = 2.8A$$

وچون 13 لامپ پشت سر ردوکتور بسته شده است جریان مینیموم ردو کتور برابر است با :

$$i_{1Red} = 0.9*13 = 11.7A$$

وجریان ثانویه ردوکتور برابر است با :

$$i_{2Red} = \frac{11.7}{133} = 0.088A$$

ومینیموم ولتاژ دو سر سیم پیچی ولتاژ رلهٔ اتصال زمین برابر میشود با :

$$U_{R\min} = \frac{i_{Red}}{u_u} = \frac{11.7A}{0.2A/V} = 59A$$

در صورتیکه قدرت کار رلهٔ 0.33 وات باشد ،جریان کار رله برابر است با :

$$i_a = \frac{P_a}{U_{R\min}} = \frac{0.33W}{59V} = 0.0056A = 5.6mA$$

این جریان را باید ترانسفورماتور جریان کمکی (ترانسفورماتور قطع کننده)بوجود آورد .

برای داشتن اطمینان بیشتر ،به این جریان 50% اضافه میشود .در اینصورت جریان ثانویه ترانسفورماتور جریان کمکی برابر میشود با :

$$1.5 * 5.6 = 8.4mA$$

از روی لیست کارخانه ،ترانسفورماتور قطع کننده با نسبت تبدیل :

$$60/0.8 - 0.7 - 0.6 - 0.5 - 0.4 - 0.3A$$

انتخاب میشود .واگر رله را بروی انشعاب 0.3 آمپر ببندیم ، در اینصورت نسبت تبدیل آن برابر است با :

$$u_a = \frac{60}{0.3} = 200$$

وجریان نامی ژنراتور برابر است با :

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{25 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 6.3KV \times 0.8} = 2870A$$

با داشتن این جریان میتوان نسبت تبدیل ترانسفورماتور سد کننده را برابر با مقدار زیرانتخاب نمود.

$$u_S = \frac{3000}{30} = 100$$

در اینصورت شرط $\frac{u_S}{u_s} = \frac{1}{2}$ نیز برقرار میشود.

اگر جریان $I'_{E\min}$ برابر 2.8 آمپر باشد ،جریان ترانسفورماتور قطع کننده برابر با :

$$i_{a\min} = \frac{2.8A}{60} \cdot 0.3 = 0.014A = 14mA$$

میشود.واین جریانی است که رله را بکار خواهد انداخت.

۴-۲-۲-۲- حفاظت ژنراتور با نقطهٔ صفر ستاره ایزوله

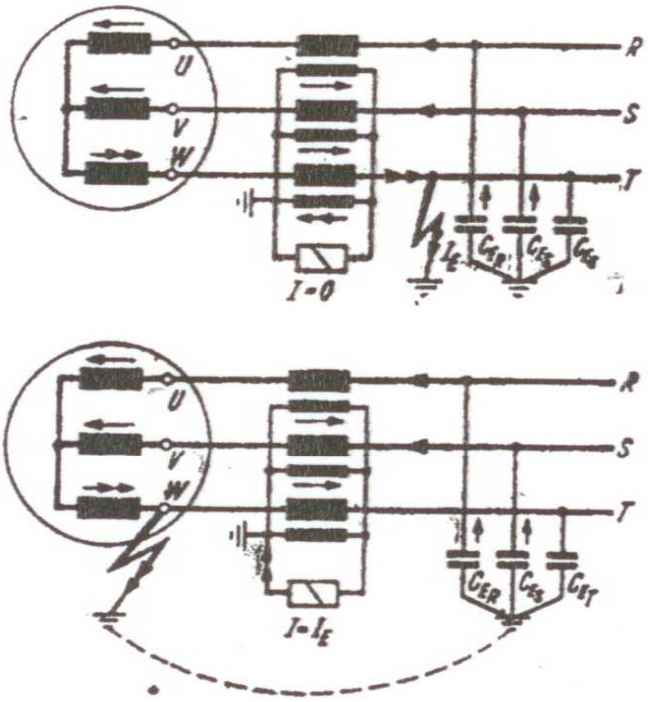
برای حفاظت ژنراتور در مقابل اتصال زمین ،در صورتیکه نقطهٔ صفر ستارهٔ سیم پیچی ها زمین نشده باشد ،میتوان از جریان اتصال زمین برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین استفاده کرد .

البته بر حسب نوع شبکه(شبکه روشن یا خاموش)از تمام جریان اتصال زمین ویا از باقیماندهٔ جریان اتصال زمین برای سنجش استفاده میشود .در صورتیکه باقیماندهٔ جریان اتصال زمین برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین کافی نباشد ،جریان اتصال زمین را بطور مصنوعی تا حد جریان شروع کار رله بالا میبریم .

در ادامه چند روش مهم جهت حفاظت ژنراتور در مقابل اتصال زمین شرح داده میشود .

الف- حفاظت توسط سنجش منتجهٔ جریانها

در صورتیکه جریان اتصال زمین برای بکار انداختن رله کافی باشد، (در شبکه روشن) جهت سنجش منتجهٔ جریانها از سه ترانسفورماتور جریان که مطابق شکل (۳۸) سیم پیچی ثانویه آنها بطور موازی بسته شده وبه یک رلهٔ جریانی متصل میشود استفاده میگردد .



شکل (۳۸)

تا موقعی که ژنراتور بدون اتصال زمین باشد ویا در صورتیکه اتصال زمین در خارج از محدودهٔ حفاظت شده (بعد از ترانسفورماتور جریان)باشد منتجهٔ جریانهای سه فاز صفر شده ورله بدون جریان میباشد .

ولی اگر اتصال زمین در ژنراتور یا در سیم رابط بین ژنراتور وترانسفورماتور جریان اتفاق افتد ،منتجهٔ جریانهای ترانسفورماتورها صفر نشده ورلهٔ جریانی بکار میافتد .برای اینکه عمل سلکتیویته وحفاظت محلی بطور مطمئن انجام شود ،باید در انتخاب ونصب ترانسفورماتورهای جریان دقتهای زیر بعمل آید .

- در نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان ،شدت جریان اتصال زمین وشدت جریان نامی ژنراتور باید در نظر گرفته شود. برای اینکه رله صد در صد وبدون وقفه کار کند ،در ژنراتورهای با جریان نامی زیاد ، جریان ثانویه ترانسفورماتور جریان را بیشتر از 5 آمپر انتخاب میکنند .برای این موضوع ترانسفورماتورهای جریان با جریان ثانویه از 5تا 30 آمپر ساخته شده است .

- از ترانسفورماتور جریان باید بطور متعادل وبرابر بار گرفت ،به اینجهت باید سیم های رابط بین ترانسفورماتور جریان تا رله از نظر طول ومقطع برابر وبهم تابیده باشد .

- ترانسفورماتورهای جریان باید دارای دقت زیاد ودر صورت امکان دارای کلاس 0.5 باشد .

- برای اینکه مقاومت خارجی ثانویه ترانسفورماتور زیاد نشود ،باید مقطع سیم های اتصال ترانسفورماتور جریان به رله را ضخیم انتخاب کرد .

- ترانسفورماتورهای جریان مخصوص رلهٔ اتصال زمین نباید برای اندازه گیری ودستگاههای حفاظتی دیگر بکار برده شود .

مثال :

فرض کنید یک ژنراتور با توان ظاهری 31.3MVA بلافاصله ومستقیم روی شبکه کار کند . جریان اتصال زمین شبکه برابر با 65A (شبکه روشن) وولتاژ نامی ژنراتور 10.5 کیلو ولت میباشد .

جهت حفاظت چنین ژنراتوری باید رلهٔ اتصال زمین وترانسفورماتورهای جریان مناسبی انتخاب نمود وجریان ثانویه ترانسفورماتور جریان برای مینیموم جریان اتصال زمین (حدود حفاظت 90%) حساب شود .

حل :

جریان نامی ژنراتور برابر است با :

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3}\cdot U} = \frac{31.3\times 10^6}{\sqrt{3}\times 10.5\times 10^3} = 1730A$$

لذا ترانسفورماتور جریانی انتخاب میکنیم که نسبت تبدیل آن :

$$u_I = \frac{2000}{20} = 100$$

باشد .مینیموم جریان اتصال زمین برابر است با :

$$I_{E\min} = 0.1 \times 65A = 6.5A$$

لذا جریان طرف ثانویه ترانسفورماتور جریان در اینحالت برابر است با :

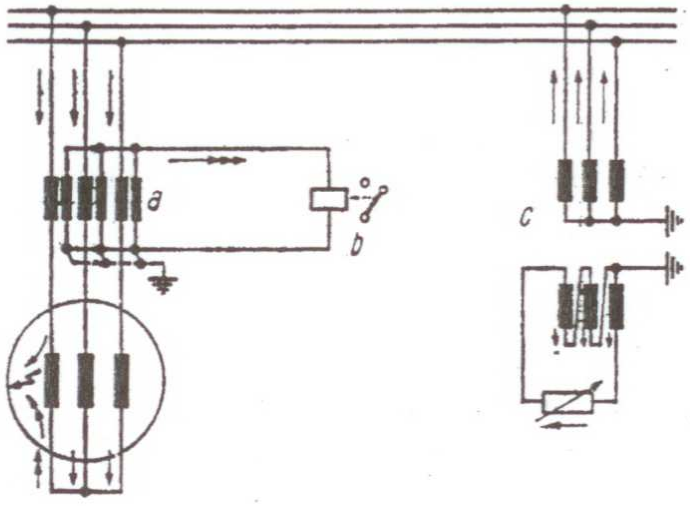
$$i_{E\min} = \frac{I_{E\min}}{u} = \frac{6.5}{100} = 0.065A = 65mA$$

چنانچه دیده میشود جریان ثانویه خیلی کوچک است ورلهٔ جریان متناوب برای جریان به این کوچکی مناسب نمیباشد ، زیرا در اینگونه مواقع باید تعداد حلقه های سیم پیچی رله خیلی زیاد باشد .

از این جهت رلهٔ آمپریک با قاب گردان برای جریانهای اتصال زمین کم بسیار مناسب میباشد .

شکل (۳۹) رلهٔ اتصال زمین را برای شبکهٔ خاموش (جریان اتصال زمین کم) نشان میدهد .

در این شکل a ترانسفورماتورهای جریان، b رلهٔ اتصال زمین وc دستگاه تولید کنندهٔ جریان اتصال زمین (سلف زمین) میباشد .چنانچه دیده میشود این سلف دارای یک سیم پیچی مثلث باز میباشد که بروی مقاومت متغیری که مقاومت آن متناسب با ولتاژ تغییر میکند بسته شده است .

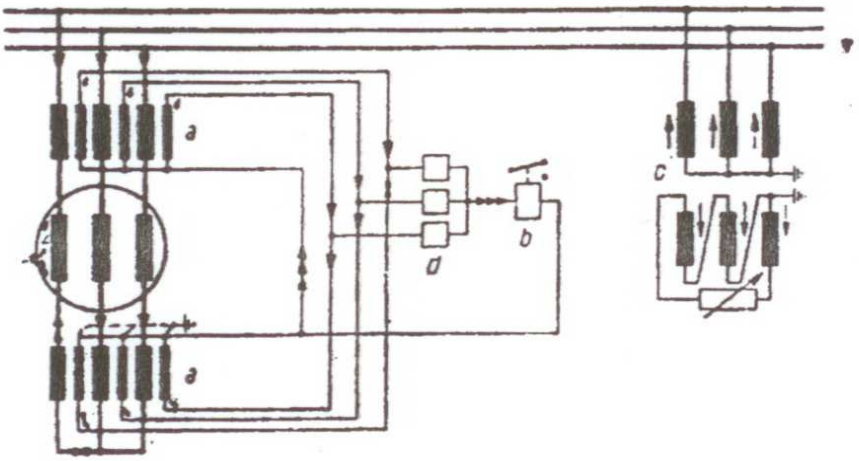


شکل (۳۹)

ب- حفاظت توسط رلهٔ دیفرانسیل

برای نشان دادن اتصال زمین در ژنراتور میتوان از مدار رلهٔ دیفرانسیل نیز استفاده کرد بطوریکه رلهٔ اتصال زمین مانند شکل (٤٠) بین نقطهٔ صفر رلهٔ دیفرانسیل ونقطهٔ اتصال ستاره ترانسفورماتور جریان بسته میشود و بدینوسیله از بکار بردن ترانسفورماتور جریان اضافی جهت رلهٔ اتصال زمین صرف نظر میشود.

در این شکل a ترانسفورماتور جریان مخصوص رلهٔ دیفرانسیل، b رلهٔ اتصال زمین .c تولید کنندهٔ جریان زمین وd رلهٔ دیفرانسیل میباشد .



شکل (٤٠)

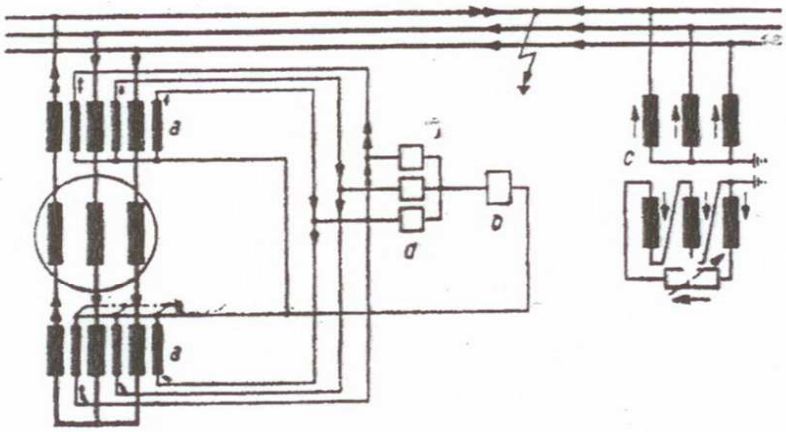
طرز کار این رله که یک رلهٔ آمپریک است بقرار زیر میباشد :

اگر یک اتصال بدنه در ژنراتور با اتصال زمین در کابل رابط بین ژنراتور تا ترانسفورماتور جریان اتفاق افتد از هر سه فاز ،جریان اتصال زمین عبور میکند که از نظر قدر مطلق وفاز با هم برابر هستند (این جریانها در شکل (٤٠) بافلش مشخص شده اند).

لذا این سه جریان در سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتورها القاء شده ومجموع آنها از رلهٔ اتصال زمین میگذرد و مدارش با زمین بسته میشود .

در صورتیکه اتصال زمین بعد از ترانسفورماتور جریان (در شبکه یا در سیم های هوائی) باشد ،باز هم جریان اتصال زمین از محل اتصالی شده عبور میکند ، ولی منتجهٔ جریانها در طرف ثانویه ترانسفورماتورهای جریان صفر یا نزدیک صفر خواهد بود. لذا رلهٔ اتصال زمین بدون جریان میماند .شکل(٤١)

به عبارت دیگر میتوان با سنجش جریان، به محل اتصال زمین (این طرف ترانسفورماتور جریان یا در آن طرف ترانسفورماتور جریان) پی برد .



شکل (٤١)

البته لازمهٔ اینگونه حفاظت سلکتیو ومحلی ،موجود بودن جریان زمین کافی است وباید دقت کرد که از بکار افتادن بیجای رله بتوسط جریان خطای ترانسفورماتور جریان نیز جلوگیری شود .باینجهت نمیتوان رله را خیلی حساس نمود .

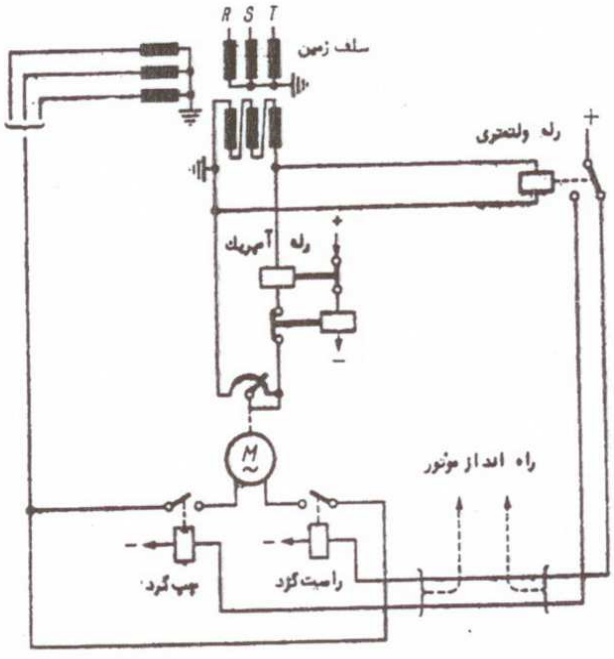
بادرنظرگرفتن تلف مغناطیسی ونسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان بطوریکه جریان نامی ثانویه 5 آمپر شود ،باید جریان اولیه زمین در حدود 2%جریان نامی اولیه ترانسفورماتور جریان باشد تا رله جواب دهد .در بیشتر اوقات ژنراتور شبکه ای را تغذیه میکند که دارای جریان خازنی زیاد ویا جریان باقیماندهٔ زیاد میباشد ومیتوان از این جریانها برای بکار انداختن رله استفاده کرد .

البته در این حالت وقتی که اتصالی بین 50% به پایین سیم پیچی ژنراتور اتفاق افتد ،چون ولتاژ جابجایی کوچک میشود از جریان خازنی نیز کاسته میشود .مثلاً اگر جریان زمین شبکه ای 10 آمپر ونسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان 2000/5A باشد ،رلهٔ اتصال زمین اتصالی را که تا 60% سیم پیچی باشد(ولتاژ جابجایی 40% ولتاژ نامی) نیز جواب میگوید ولی اگر محل اتصالی باز هم به نقطهٔ صفر نزدیکتر شود ،دیگر جریان اتصال زمین شدت لازم برای بکار انداختن رله را نخواهد داشت.

معمولاً در صورتیکه شبکه خاموش باشد ،جریان باقیماندهٔ زمین خیلی کم ودر ضمن نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان نیز در ژنراتورهای قوی بزرگتر است وباینجهت جریانی که موقع اتصال زمین به رله میرسد آنقدر کم میشود که حتی رله قادر به قطع مدار در موقعی که اتصالی در نزدیکیهای برن ژنراتور هم باشد ندارد .

در اینگونه مواقع از یک سلف مخصوص به نام سلف اتصال زمین استفاده میشود .سیم پیچی ثانویه این سلف (ترانسفورماتور) بروی مقاومت قابل تغییری بسته شده است وبا بار گرفتن از آن در موقع اتصال زمین ،میتوان جریان زمین را بطور قابل ملاحظه ای زیاد کرد .در ضمن باید دقت کرد که جریان اتصال زمین از حد معینی تجاوز نکند ،زیرا زیادی جریان نیز باعث خسارت در محل اتصالی میشود .از اینجهت باید بوسیله ای جریان اتصال زمین را کنترل کرده وجریان لازم برای بکار افتادن رلهٔ را تولید کرد .

زیمنس عمل تنظیم اتوماتیک وخودکار جریان اتصال زمین را مانند شکل (٤٢) بصورت موتوری انجام میدهد .



شکل (٤٢)

طرز کار این دستگاه به این طریق است:

در صورتیکه اتصال زمین در شبکه یا در ژنراتور موجود نباشد ،اختلاف سطح دو سر سیم پیچی مثلث باز هم صفر است (تعادل ولتاژها).

در موقع اتصال زمین شدن یکفاز ،تعادل ولتاژها بر هم خورده ودر دو سر سیم پیچی مثلث باز ولتاژی ایجاد میشود که برآبر ولتاژ صفر است .

دو سر این بسیم پیچی چنانچه دیده میشود بروی مقاومت متغیری بسته شده است .این مقاومت را طوری حساب میکنند که موقعی که اتصال زمین در ترمینالهای ژنراتور باشد (در بدترین حالت) جریان اتصال زمین ، برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین کافی باشد .

در این حالت موتور نچرخیده وتمام مقاومت در مدار قرار دارد .

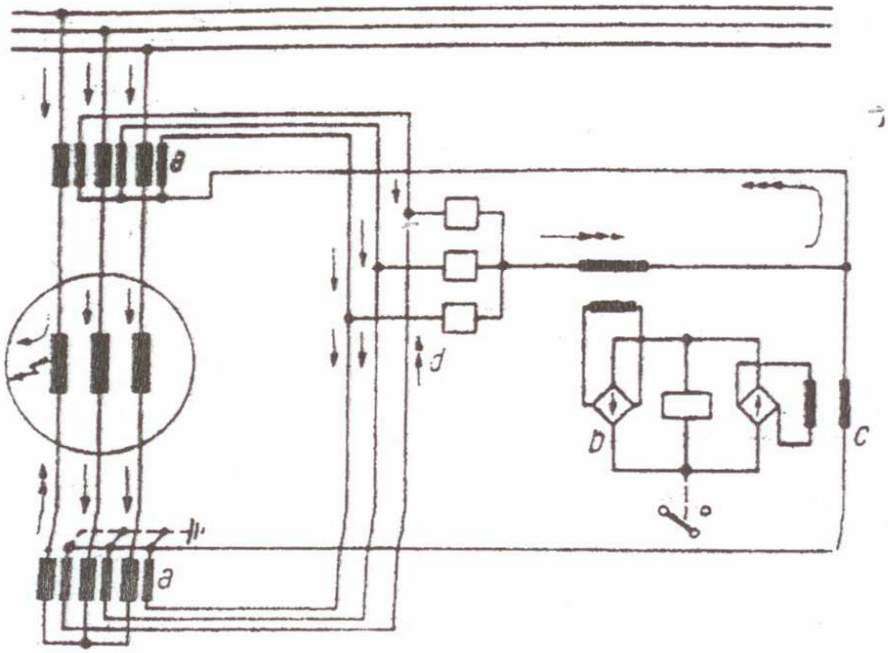
در صورتی که اتصالی در مکانی باشد که جریان اتصال زمین کوچک است ،چون ولتاژ صفر نیز در این حالت کوچک است ،رلهٔ ولتمتری عمل کرده ،مدار موتور تنظیم بسته میشود وموتور بطور آهسته بطرف چپ بگردش در میاید وآهسته آهسته مقاومت، بار سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور زمین را کم میکند تا جریان زمین آنقدر بزرگ شود که رله جواب دهد .اگر جواب داد ،اتصال زمین در ژنراتور بوده وژنراتور قطع می شود. اگر رله با کم شدن مقاومت نیز جواب نداد، معلوم می شود که اتصالی در شبکه اتفاق افتاده است .

چون در موقعی که اتصال زمین در شبکه است ،رلهٔ اتصال زمین ژنراتور را قطع نمیکند لذا اتصالی در شبکه باقی میماند وموتور تنظیم آنقدر به حرکت خود ادامه میدهد تا جریان در مدار ثانویه ترانسفورماتور از مقدار مجاز تجاوز کند. در این صورت رله جریان زیادی که در مدار قرار دارد عمل نموده و رله کمکی سبب قطع مدار ثانویه ترانسفورماتور زمین میشود واین حالت قطع تا موقعی که اتصال زمین شبکه قطع نشود باقی میماند .

بطور کلی میتوان گفت که در موقع اتصال زمین شدن ژنراتور ،جریان اتصال زمین با جریانی که توسط سلف زمین به طور مصنوعی بوجود میاید ، مجموعاً رلهٔ اتصال زمین را بکار میاندازد .

اما از آنجا که رلهٔ جریانی با هر جریانی که از نظر شدت ومقدار ، برای بکار انداختن آن کافی باشد خواه این جریان در اثر اتصال زمین ویا در اثر خطاهای ترانسفورماتور جریان ویا حتی

در اثر جریان هارمونیک های بالا وغیره بوجود آمده باشد کار میکند ، لذا برای جلوگیری از قطع بیموقع رلهٔ اتصال زمین از مداری بشکل (٤٣) استفاده میشود .



شکل (٤٣)

چنانچه دیده میشود ،ترانسفورماتور c مابین سیم صفر اتصال ستاره ترانسفورماتور های جریانی که در طرف ستارهٔ سیم پیچی ژنراتور قرار دارد ، بسته شده است .جریانی که از این ترانسفورماتور میگذرد اثر سد کننده بروی رلهٔ اتصال زمین دارد .

در موقعی که یکی از سیمهای ژنراتور اتصال بدنه پیدا میکند ،منتجهٔ جریان در ترانسفورماتور جریانی که در طرف اتصال ستاره ژنراتور بسته شده است صفر است وفقط ترانسفورماتورهائی که در بالای ژنراتور نصب شده است منتجهٔ مجموع جریانهای همفازی را میدهد که از فازها عبور میکند .(این جریانها با فلش مشخص شده است).لذا این مجموع جریان ها که معادل جریان اتصال زمین میباشد از رلهٔ اتصال زمین عبور کرده وسبب بکار انداختن رله میشود.

پس میتوان گفت که فقط ترانسفورماتورهای جریانی که در طرف ولتاژ نامی ژنراتور بسته شده است برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین مؤثر میباشد.

در ضمن تفاوت جریانهای دو طرف ژنراتور در حالت عادی کار ژنراتور از ترانسفورماتور جریان c عبور کرده وتولید مومانی در رله میکند که در جهت عکس مومان کار رله است ودر نتیجه از عمل کردن بیموقع رله جلوگیری بعمل میاید .

استفاده از رلهٔ جریانی در رلهٔ اتصال زمین در بیشتر شبکه ها خود بخود حفاظت 100% را نیز ممکن میسازد .این عمل بوسیله ولتاژ الکتریکی با هارمونیک سوم انجام میگیرد که همیشه در ژنراتورها موجود است .

فرض کنیم که ولتاژ الکتریکی هارمونیک سوم موجود در ژنراتوری باندازه 40% ولتاژ نامی آن باشد وفرض کنیم که این ژنراتور شبکه ای را تغذیه میکند که دارای جریان زمین خازنی بشدت 20 آمپر باشد .اگر یک اتصال بدنه در قسمت صفر یا در حوالی نقطهٔ صفر ستاره سیم پیچی ژنراتور اتفاق افتد ،جریان خازنی که در اثر هارمونیک های سوم از زمین عبور میکند برابر است با :

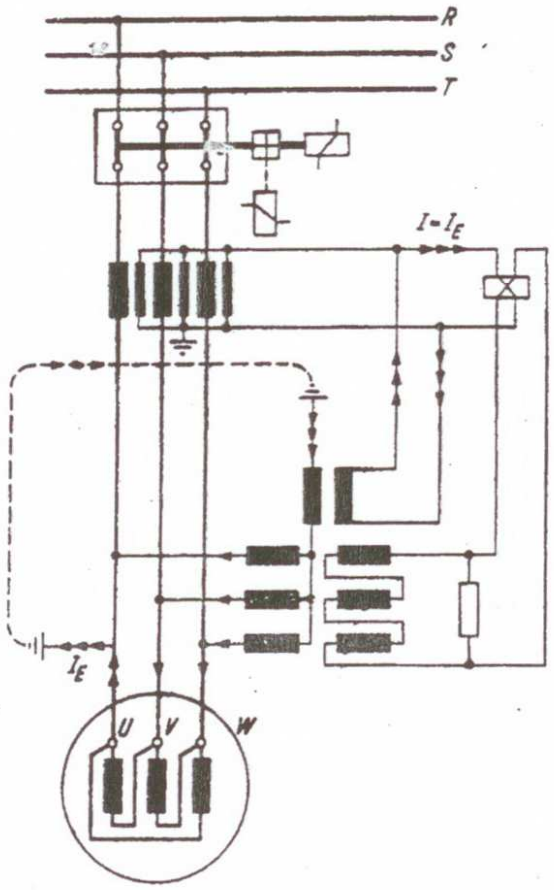
$$\frac{4}{100}\times 3\times 20 = 2.4A$$

فرض میکنیم که نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریانی که بروی ژنراتور بسته شده 1000/5A و جریانی که در موقع بار لازم است تا رلهٔ اتصال زمین را بکار بیاندازد بین 1.5 تا 1.2 باشد در اینصورت چنانچه دیده میشود جریان کار رله خیلی کمتر از 2.4 آمپر ،جریانی است که در اثر هارمونیک سوم در موقع اتصال بدنه شدن سیم پیچی ژنراتور در نزدیکیهای صفر بوجود میاید .

باین ترتیب میتوان در یک شبکهٔ نسبتاً کوچک که جریان زمین آن کلاً 20 آمپر است ،با یک رلهٔ آمپریک ،100% سیم پیچی ژنراتور را بدون دخالت دادن دستگاههای اضافی دیگری در مقابل اتصال زمین حفاظت کرد .

شکل (٤٤) حفاظت ژنراتوری را که مستقیماً روی شین کار میکند وبطور مثلث سیم پیچی شده است نشان میدهد .چنانچه دیده میشود جهت رلهٔ اتصال زمین از یک رلهٔ واتمتری استفاده شده است . در این روش نیز سه ترانسفورماتور جریانی که بلافاصله پشت کلید اصلی ژنراتور نصب شده است ،ترانسفورماتورهای سد کننده میباشند وترانسفورماتورهای جریانی که بین

نقطهٔ صفر ستارهٔ ترانسفورماتور زمین وزمین بسته شده است ،ترانسفورماتور قطع کنندهٔ رلهٔ میباشد .

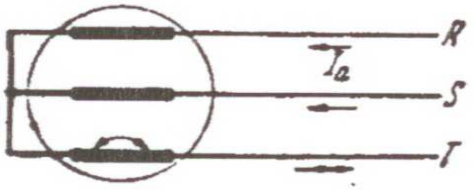


شکل (٤٤)

۴-۳- اتصال حلقه و رله حفاظتی آن

اتصال حلقه که در شکل (٤٥) نشان داده شده است، عبارتست از اتصالی چند حلقه مربوط به کلاف یک فاز.

در ژنراتورهایی که دارای دو سیم پیچی موازی بازای هر فاز میباشند اتصال کوتاه بین حلقه های موازی یک فاز نیز ایجاد یک اتصال حلقه میکند .



شکل(٤٥)

در تمام ژنراتورهای بزرگ که حلقه های آن از تسمه های مسی ایزوله وپیش فرم گرفته تشکیل شده است، خطر اتصال حلقه بسیار بسیار کم است، زیرا اولاً تسمه ها نسبت بهم دارای عایق دوبل میباشند ودر ثانی هیچوقت دو تسمهٔ مربوط به یک فاز در یک شیار قرار نمی گیرد (شکل٤٦)،بلکه اغلب تسمه های مربوط به کلافهای مختلف دریک شیار جای میگیرد.

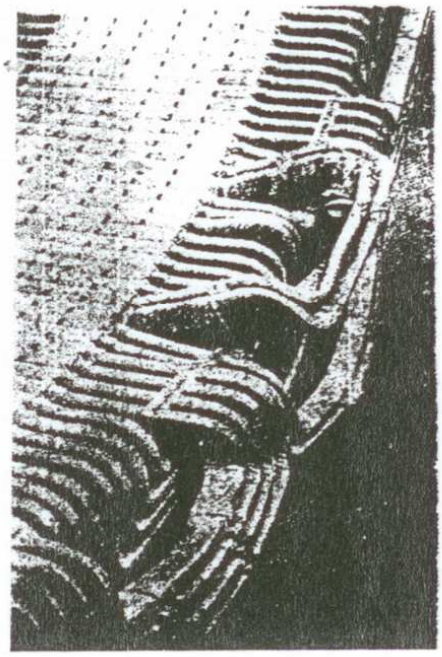
باین جهت فقط در کله سیمها ست که امکان برخورد تماس دو تسمه با دو حلقه مربوط به یک فاز وجود دارد ودر همین جا است که ممکن است در اثر نقص عایقی، اتصال حلقه پیش آید .

اما بعلت اینکه تسمه ها نسبت به بدنه آهن استاتور فقط یک لا عایق پیچی شده اند، در موقع خراب شدن عایق، اول مرتبه ژنراتور مواجه با خطر اتصال بدنه میشود .

در ژنراتورهایی که استاتور آنها دارای سیم پیچی معمولی ومفتولی میباشند، اغلب اتصال حلقه در اثر جرقهٔ اتصال بدنه که توسط رلهٔ اتصال زمین حفاظت ومشخص میشود بوجود می آید .

حال اگر در یک حالت کاملاً استثنایی اتصال حلقه قبل از اتصال بدنه بوجود آید، جریانهای اتصال کوتاه در حلقه های اتصالی شده خواه وناخواه سبب ایجاد یک اتصال زمین نیز میگردد. این اتصال زمین توسط رلهٔ اتصال زمین کنترل وحفاظت میشود .لذا میتوان گفت که اتصال

حلقه در ژنراتور یک حادثهٔ کاملاً استثنایی است واز اینجهت امروزه کمتر رله ای جهت حفاظت اتصال حلقه در ژنراتورهای مدرن بکار برده میشود .



شکل(٤٦)

شدت جریان در حلقه های اتصالی شده به شدت تحریک ژنراتور بستگی دارد .در ضمن هرچه تعداد حلقه هایی که اتصالی شده است کمتر باشد، جریان اتصالی بزرگتر میشود.

شدت جریان اتصالی در اغلب مواقع بحدی بزرگ است که سبب خرابی های دیگری در ژنراتور میشود .البته مقاومت اتصالی در شدت جریان بسیار مؤثر است .

بر خلاف اتصال دو فاز، اتصال حلقه موجب عبور جریان اتصال کوتاه داخلی در نقطهٔ اتصال ستاره سیم پیچی ژنراتور نمیشود،زیرا این جریان اتصال کوتاه در اثر نیروی الکتروموتوری همان فاز بوجود میاید .

اگر ژنراتور به شبکه ای متصل باشد که توسط ژنراتورهای دیگر نیز تغذیه میشود، یک جریانی نیز از خارج، محل اتصالی را تغذیه میکند.این جریان خارجی اتصالی در شکل(٤٥)با I_a نشان داده شده است .چنانچه دیده میشود شدت جریان خارجی اتصالی در فاز اتصال شده دو برابر شدت جریان فازهای سالم ودر هر حال کمتر از شدت جریان خارجی I_a در موقع

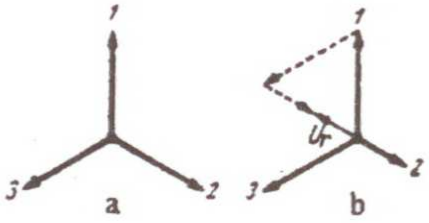
اتصال دو فاز داخلی است .در ثانی این جریان خارجی اتصالی در دو طرف ژنراتور برابر است، لذا رلهٔ دیفرانسیل نمی تواند چنین اتصالی را تشخیص دهد .

۴-۳-۱- روش های مختلف برای تشخیص اتصال حلقه

نظر باینکه اتصال سیم پیچی های ژنراتور ممکن است بصورت ستاره ویا مثلث باشد ودر ضمن بعضی از ژنراتورها دارای دو دسته سیم پیچی موازی به ازای هر فاز میباشند، طریقهٔ حفاظت آنها نیز در مقابل اتصالی حلقه متفاوت است که ما ذیلاً به شرح چند نوع از آن میپردازیم.

۴-۳-۱-۱- حفاظت بوسیله کنترل برآیند ولتاژها

بردار ولتاژها در اثر اتصال حلقه، مانند شکل (٤٧) از حالت تعادل و برابری خارج شده و در نتیجه مثبت بردارهای ولتاژ از حالت مثلث متساوی الاضلاعی خارج شده و مرکز ستاره ولتاژها تغییر مکان داده و برآیند آنها صفر نمیشود. از این صفر نبودن برآیند ولتاژها جهت تشخیص و کنترل اتصال حلقه استفاده میشود.



شکل(٤٧)

چنانچه دیده میشود برای تشخیص اتصال حلقه از سه ترانسفورماتور ولتاژ که طرف اولیه آن بصورت ستاره بسته شده است استفاده شده ونقطهٔ ستارهٔ آن توسط یک کابل ولتاژ قوی به نقطهٔ صفر ژنراتور وصل گردیده است.

سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتورها بصورت مثلث باز بیکدیگر متصل ودو سر آزاد آن پس از عبور از یک فیلتر فرکانسی به رلهٔ اتصال زمین وصل میشود .

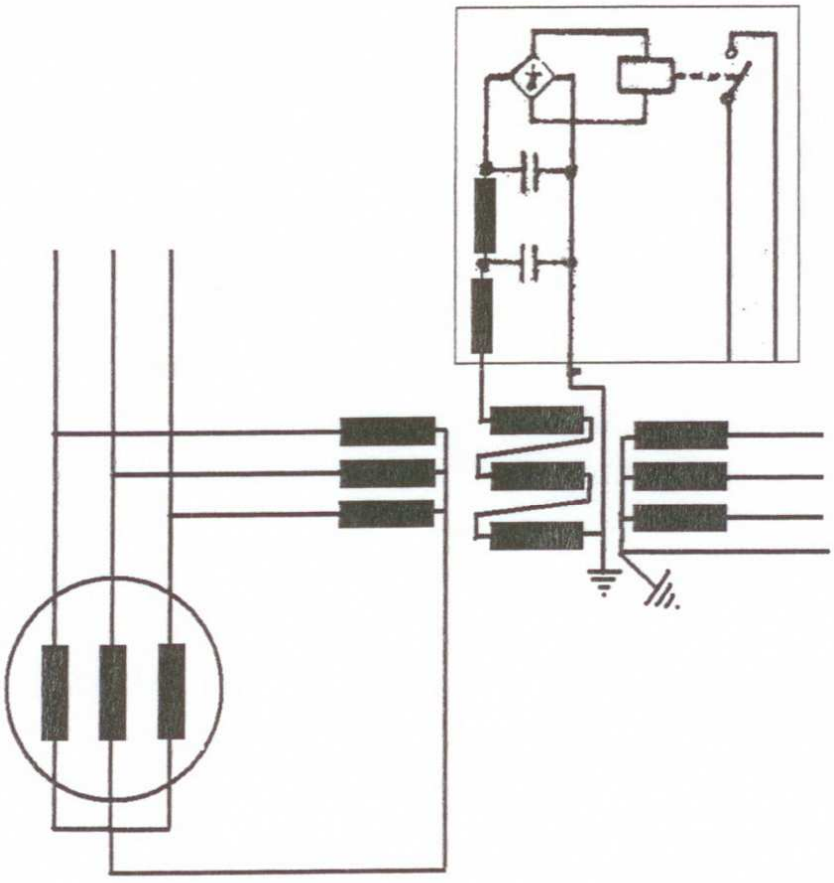
باایجاد اتصال چند حلقه در سیم پیچی یک فاز ژنراتور، مجموع هندسی ولتاژهای ترانسفورماتور ولتاژ صفر نمی شود (نقطه چین در شکل٤٧).

در نتیجه در دو سر سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتورها که بصورت مثلث باز بسته شده است ولتاژ باقیماندهٔ U_r بوجود میاید .از این ولتاژ برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین استفاده میشود .

تا موقعی که ژنراتور بدون اتصال حلقه است. برآیند ولتاژ موج اصلی ژنراتور در طرف ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ صفر است و ولتاژی که در اثرهارمونی های بالا بوجود میاید توسط فیلتر فرکانس گرفته میشود .

رله اتصال حلقه ای که در شکل (٤٨) نشان داده شده است. یک رله، با قاب گردان است و بدین جهت است که جریان یا ولتاژ حاصل، قبل از تغذیه رله، توسط یکسو کننده یکطرفه شود .

ترانسفورماتور ولتاژی که برای رله اتصال حلقه بکار میرود، همیشه دارای یک سیم پیچی ثانویه دیگری نیز می باشد که از آن برای حفاظت و تنظیم و یا سنجش های دیگر استفاده میشود.

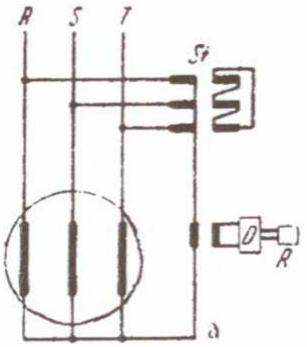


شکل(٤٨)

شکل (٤٩) طریقهٔ دیگر حفاظت اتصال حلقه را نشان میدهد .

از آنجا که در موقع اتصال حلقه در یکی از فازهای ژنراتور بین نقطهٔ صفر ژنراتور ونقطهٔ اتصال ستارهٔ ترانسفورماتور ولتاژی که در طرف برن های ژنراتور نصب شده است اختلاف پتانسیلی ایجاد میشود،میتوان این اختلاف پتانسیل را توسط ترانسفورماتور ولتاژ مخصوصی که از طرف اولیه بین دو نقطهٔ اتصال ستارهٔ ژنراتور وترانسفورماتور ولتاژ وصل شده است ظاهر کرده ودر طرف ثانویه توسط رلهٔ اتصال حلقه که یک رلهٔ ولتمتریست سنجید .

اما از آنجا که این روش حفاظتی بشدت تحت تأثیر هارمونیک های سوم میباشد ودر حالت عادی نیز اختلاف ولتاژی که در اثر موج هارمونیکی بالا در دو سر ترانسفورماتور ولتاژ که بین دو نقطهٔ صفر بسته شده است بوجود میاید، باید بوسیلهٔ فیلتر فرکانسی از ورود ولتاژ با فرکانس بالا به رله جلوگیری کرد .این فیلتر در شکل با حرف D مشخص شده است .



شکل(٤٩)

۴-۳-۱-۲- حفاظت بوسیلهٔ کنترل منتجهٔ جریانها

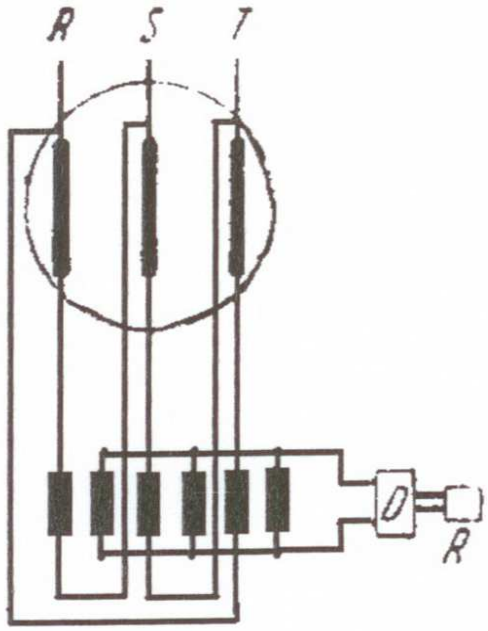
در صورتیکه اتصال سیم پیچ های ژنراتور بصورت مثلث باشد، بعلت موجود نبودن نقطهٔ صفر ستارهٔ فازها نمی توان توسط سنجش منتجهٔ ولتاژها به اتصال حلقه پی برد .لذا در اینحالت بخصوص از منتجهٔ جریانها کمک گرفته میشود .

برای تشکیل منتجهٔ جریانها از سه ترانسفورماتور جریان مانند شکل (۵۰) استفاده میشود .

منتجهٔ جریانها در حالت عادی ژنراتورها، صفر بوده ورلهٔ مربوطه بدون جریان میباشد. اتصال حلقه سبب عبور جریانهایی از فازهای سالم بطرف فاز اتصالی شده میشود .این جریان متعادل کننده در هر سه فاز دارای یک جهت بوده ورلهٔ اتصال حلقه مجموعهٔ این سه جریان را دریافت میکند. در این روش نیز جهت بی اثر کردن هارمونیک از فیلتر فرکانسی استفاده شده است .

در ژنراتورهایی که هر فاز آن از دو مدار موازی تشکیل شده باشد نمی توان از روشهای فوق برای تشخیص اتصال حلقه استفاده کرد .

برای حفاظت اینگونه ژنراتورها در مقابل اتصال حلقه روشهای مختلفی موجود است که دو روش آن ذیلاً شرح داده شده است .



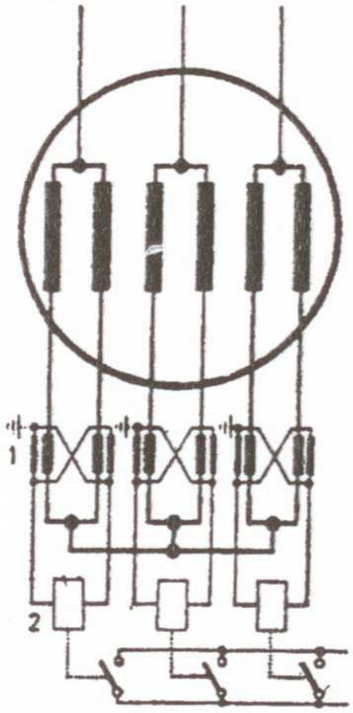
شکل(۵۰)

۴-۳-۱-۳- توسط رلهٔ دیفرانسیل عرضی

رلهٔ دیفرانسیل عرضی مانندشکل (۵۱)هرتغییراتی که در تقسیم جریان مدارهای موازی پدید آید را نشان میدهد .بدین وسیله میتوان حتی قطع شدگی یک فاز را نیز تشخیص داد .

در صورتیکه اتصال حلقه در یکی از مدارهای موازی یک فاز اتفاق افتد، جریان متعادل کننده ای از سیم پیچی سالم به محل اتصالی شده عبور میکند، شدت این جریان البته زیاد

نیست و از شدت جریان اتصال کوتاه خیلی کمتر است، ولی میتوان این جریان متعادل کننده را توسط رلهٔ دیفرانسیل عرضی دقیق وحساس سنجید .

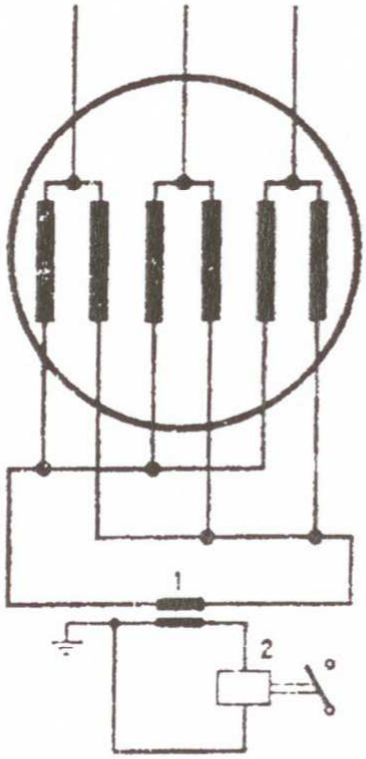


شکل(۵۱)

۴-۳-۱-۴- توسط رلهٔ جریان زیاد

تشخیص وتعیین اتصال حلقه در سیم پیچی استاتور ژنراتور توسط رلهٔ دیفرانسیل عرضی مستلزم تعداد زیادی ترانسفورماتور جریان میباشد ودر صورتی که مدارهای موازی سیم پیچی ژنراتور بطور مجزا بصورت ستاره وصل شده باشد میتوان با استفاده از یک ترانسفورماتور جریان مانند شکل (۵۲) یا ترانسفورماتور ولتاژ که در محل اتصال دو نقطهٔ صفر ستاره وصل میشود از بوجود آمدن اتصال حلقه در یک فاز آگاهی پیدا کرد .در موقع اتصال حلقه در یکی از مدارهای موازی اختلاف ولتاژی بین دو نقطهٔ ستاره بوجود میاید که سبب ایجاد ولتاژی در طرف ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ میشود ویا بعلت عبور جریان متعادل کننده در اثر اتصال حلقه، جریانی در طرف ثانویه ترانسفورماتور جریان تولید میشود .این ولتاژ ویا جریان سبب بکار انداختن رلهٔ جریان وقطع ژنراتور میشود .

اگر از رلهٔ جریانی استفاده شود، جریان کار در حدود ۱۰٪ جریان نامی یکی از مدارهای موازی است واگر از رلهٔ ولتاژی استفاده شود، ولتاژ کار رله در حدود ۱۰٪ولتاژ ژنراتور میباشد .فرمان قطع تقریباً پس از 0.5 ثانیه صادر میشود .



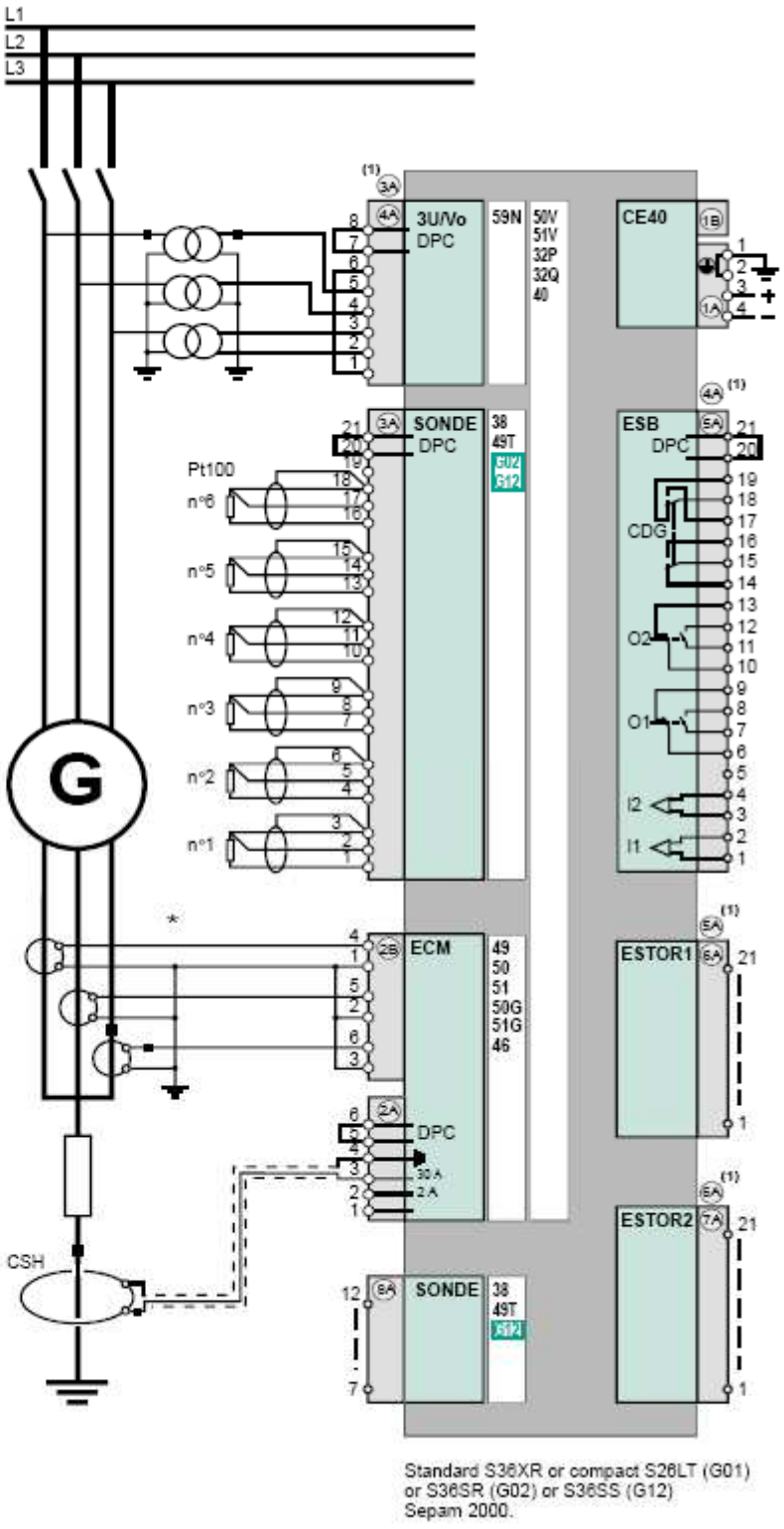
شکل(۵۲)

۵- حفاظت پیشنهاد شده برای ژنراتورهای الکتریکی سنکرون

Sepam 2000 generators

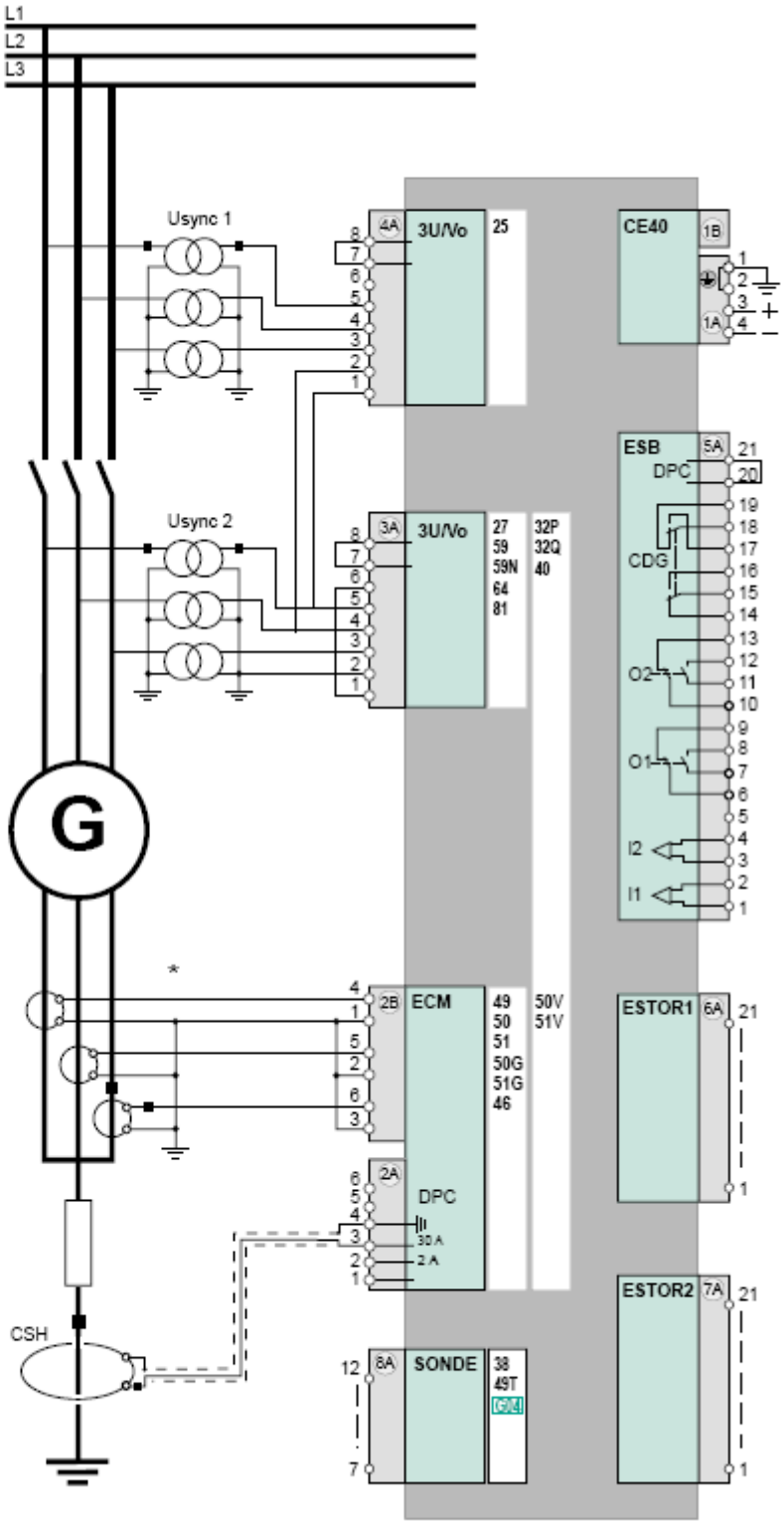
functions	ANSI code	Sepam types [2] [3]										generator-transfomer unit		
		G01	G02 G12	G03	G04	G05	G06 G13	G07	G08	G17	G18	G00	G15	G16
protections														
phase overcurrent	50/51	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4/2*	4/2*
thermal overload	49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
voltage restrained overcurrent	50V/51V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
negative sequence/ unbalance	46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
earth fault	50N/51N (G)												2	2
neutral	50G/51G	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	4	4	4
undervoltage [1]	27			2	2	2	2	2	2	2***	2***	2	2***	2***
overvoltage [1]	59			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
neutral voltage displacement [1]	59N/64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
directional overcurrent	67							1	1			1		
directional earth fault	67N							1	1			1		
reverse real power	32P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
field loss (reverse reactive power)	32Q/40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
underfrequency [1]	81L			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
overfrequency [1]	81H			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
temperature set points (RTDs 1/12)	38/49T		6/12		6		6/12		6		6			6
restricted earth fault	64REF					1	1	1	1			1		
biased differential	87G									1	1			
synchronism check	25			1	1									
metering														
phase currents (I1, I2, I3)		■	■	■	■	■	■	■	■	■/■*	■/■*	■	■/■*	■/■*
peak demands phase currents (I1, I2, I3)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
voltages (U21, U32, U13, V1, V2, V3)		■	■	■/■**	■/■**	■	■	■	■	■	■	■	■	■
real / reactive power (P,Q)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
peak demand real/ reactive power		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
power factor		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
frequency		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
thermal capacity used		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
accumulated real/ reactive energy (±Wh, ±VArh)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
tripping currents (I1, I2, I3, Io)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
true rms current		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
temperature			■		■		■		■		■			■
disturbance recording		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
residual current		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■/■*	■/■*
residual voltage		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
cumulative breaking current and number of breaks		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
differential and through currents										■	■			
control and monitoring														
open/ close		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
lockout relay	86	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
inhibit closing	69	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
annunciation	30	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
logic discrimination	68	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
trip circuit supervision	74	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
Buchholz, thermal, DGPT, PTC												■	■	■
generator shutdown logic		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
de-energizing logic		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
detection of plugged connectors (DPC)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
operation counter		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
running hours counter		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
phase fault trip counter		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
disturbance recording triggering		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VT monitoring				■	■									
Sepam models														
standard S36		XR	SR/ SS	TR	TS	XR	SR/ SS	XR	SR	LR	LS		LR	LS
compact S26		LT										LT		
number of standard ESTOR boards		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

G01, G02 and G12 types



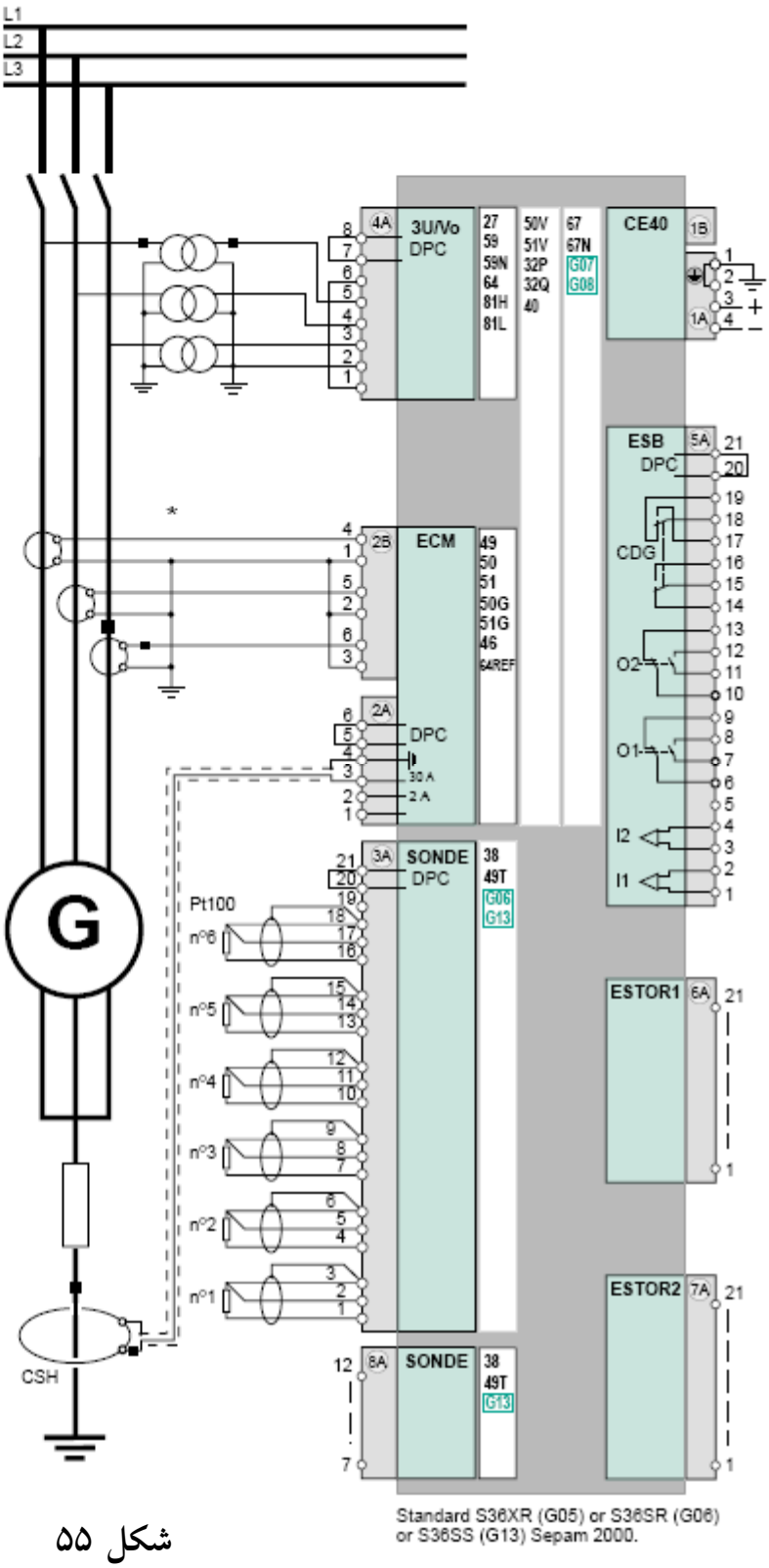
شکل (۵۳)

G03 and G04 types



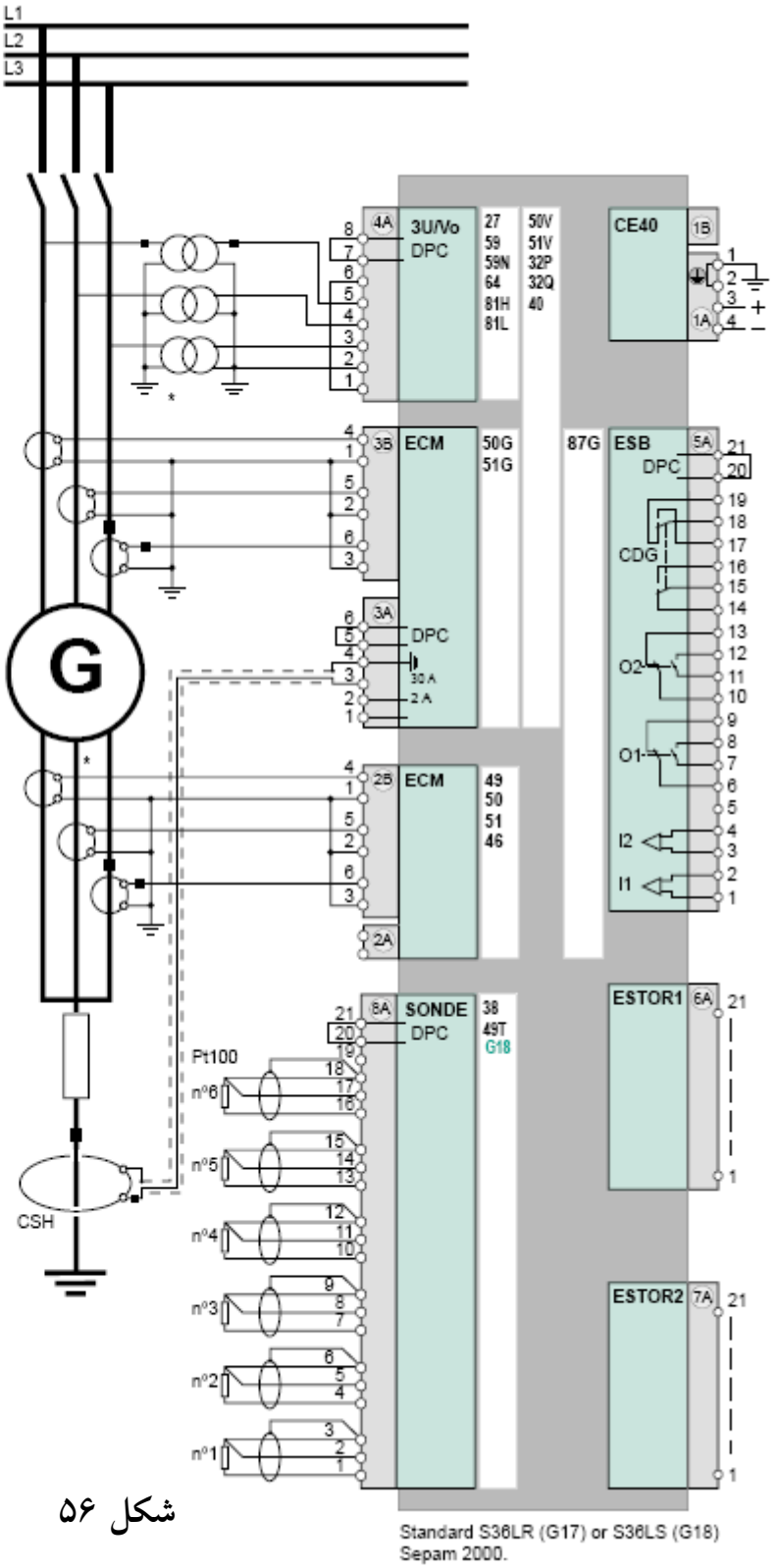
شکل ۵۴

G05, G06, G07, G08 and G13 types



شکل ۵۵

G17 and G18 types

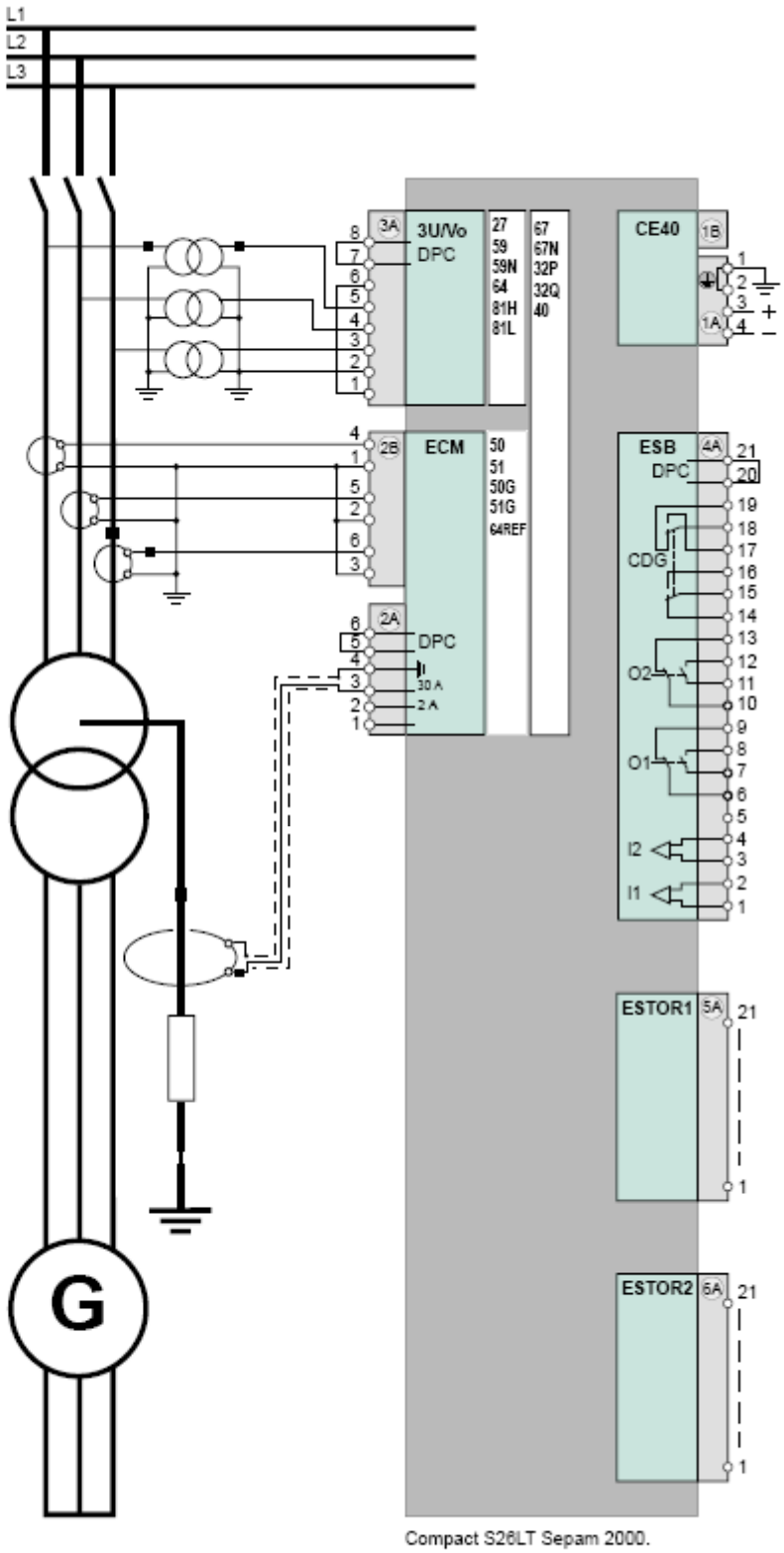


Standard S36LR (G17) or S36LS (G18)
Sepam 2000.

شکل ۵۶

G00 type

To be combined with G01, G02 or G12 types to protect medium-size generator-transformer units.

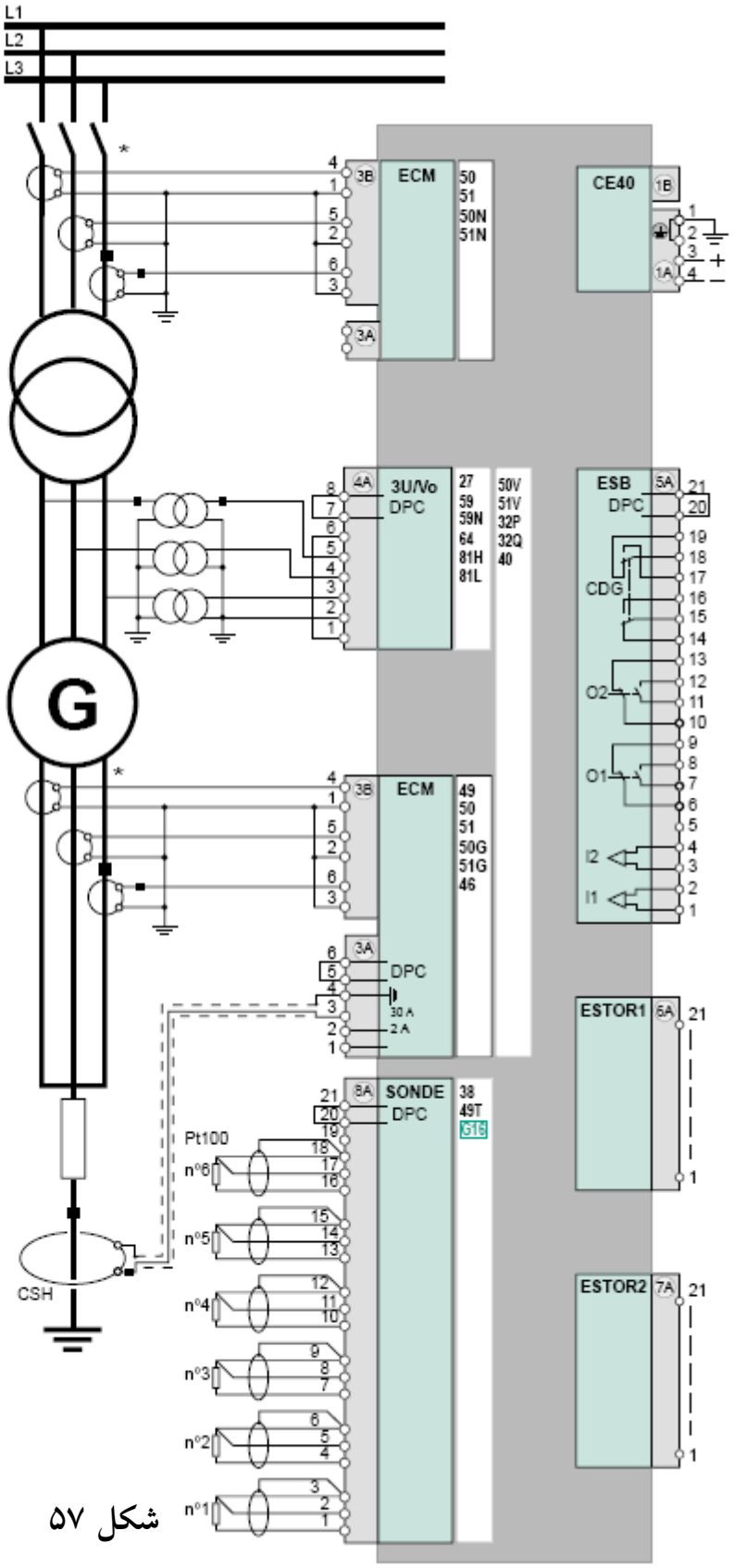


Compact S26LT Sepam 2000.

شکل ۵۷

G15 and G16 types

Protection of small generator-transformer units

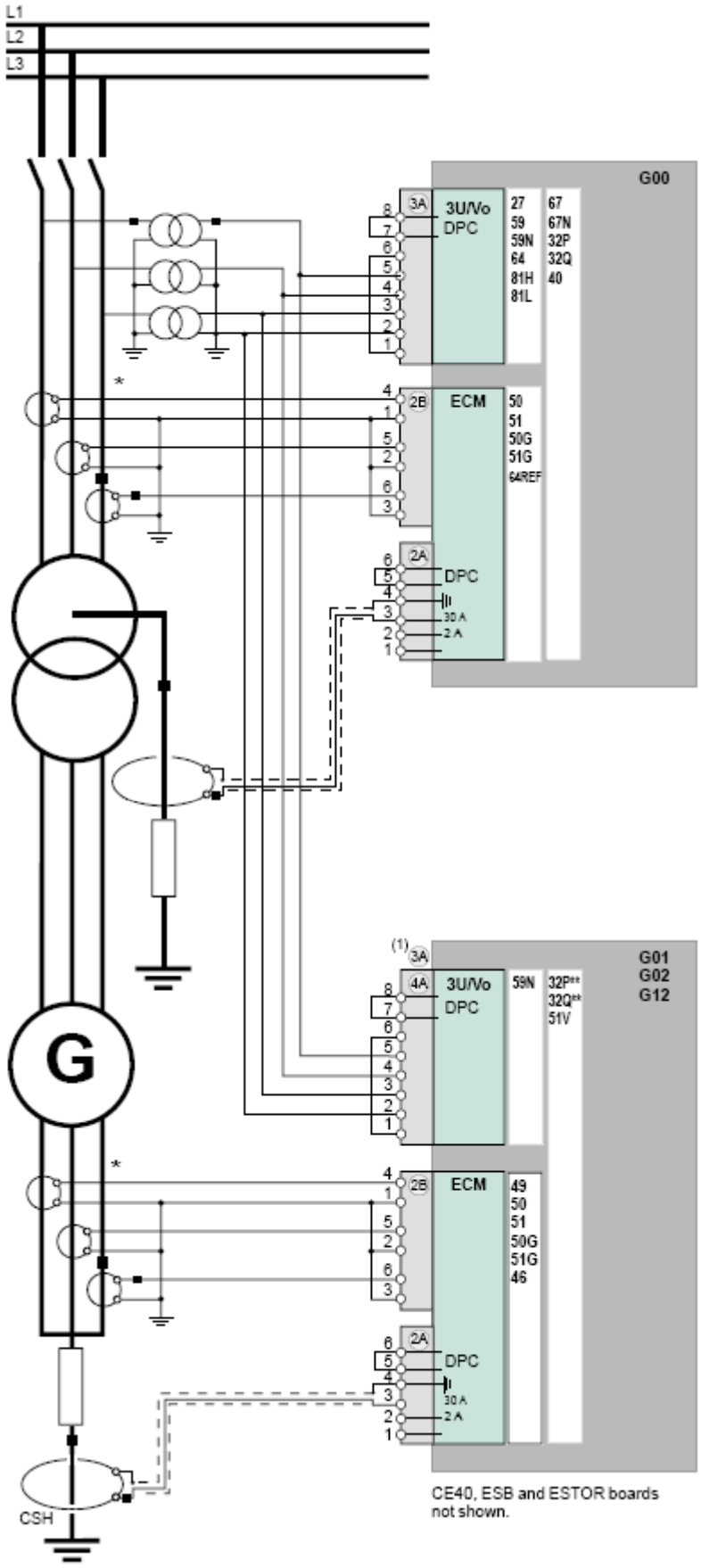


شکل ۵۷

Standard S36LR (G15) or S36LS (G16)
Sepam 2000.

Sepam 2000
combination of G00 and G01 types or G02 or G12 type

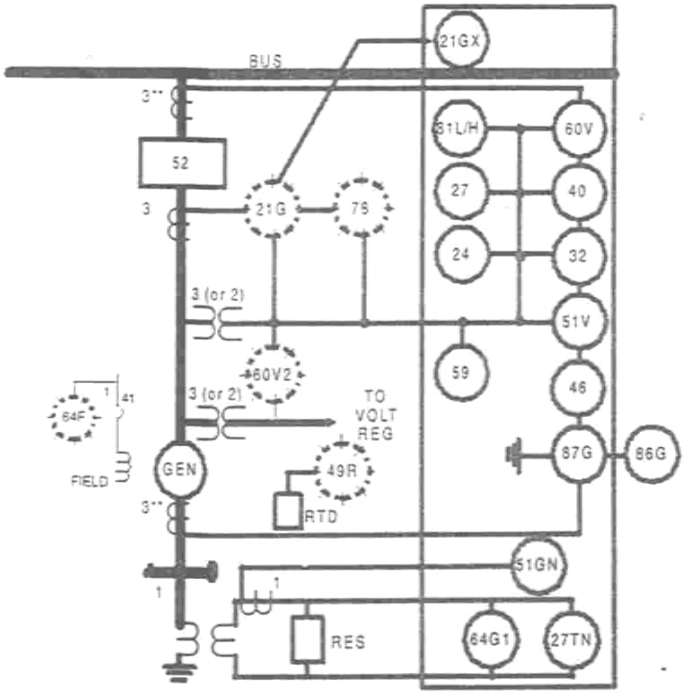
Protection of medium generator-transformer units



شکل ۵۸

Protective Zone (GEN3)

Minimum protection for a large machine with high resistance grounding:



Device list for GEN 3

21G	Distance
21GX	Aux to 21G
24	Overexcitation
27	Undervoltage
27TN	Undervoltage (Third Harmonic)
32	Power Direction
40	Loss of Excitation
46	Current Unbalance
49R	Overload (RTD)
51GN	Time Overcurrent (Ground)
51V	Time Overcurrent (V Restraint)
59	Overvoltage
60V	Voltage Balance
64F	Ground (field)
64G	Ground (stator)
78	Out-of-step
81L/H	Frequency
86G	Lockout Auxiliary
87G	Differential

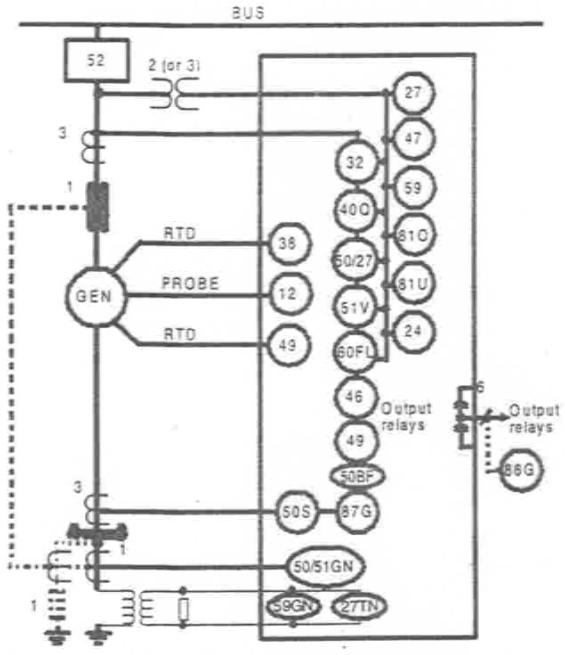
** If no external fault source exists, exchange connections of protection from line side CT's to neutral side CT's and vice versa.

شکل ۵۹

GENERATOR

Protective Zone (GEN2)

Recommended protection for a small machine with low/high resistance grounding:



Device list for GEN 2

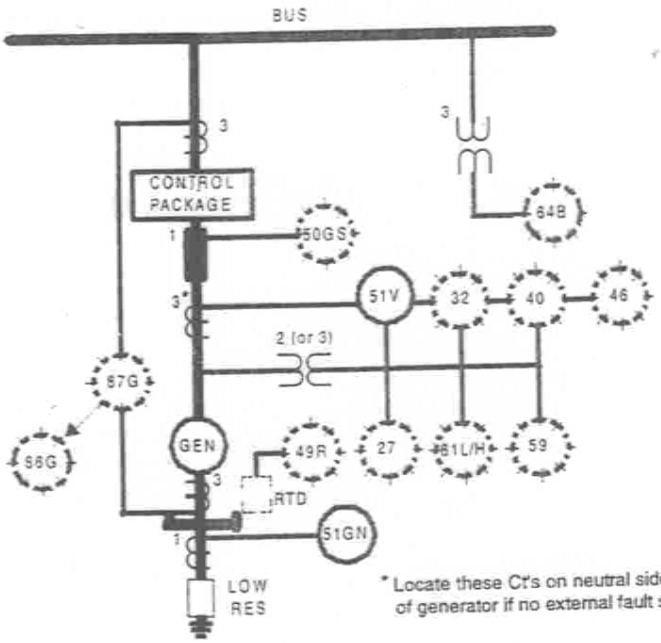
12	Overspeed
24	Overexcitation, Volts/Hz
27	Undervoltage
50/27	Inadvertent generator energization
32	Reverse power for anti-motoring
38	Bearing overtemperature
39	Bearing vibration (analog inputs)
40Q	Loss of field
46	Negative Sequence Overcurrent(I_2^2t)
47	Voltage phase reversal
49	Stator thermal (RTD and thermal model)
50BF	Breaker failure detection
50S	Instantaneous overcurrent (during startup)
50/51GN	Instantaneous or definite time overcurrent
51V	Voltage restrained phase overcurrent
59	Overvoltage
59GN/ 27TN	100% stator ground
60FL	VT fuse failure detection
81	Over and underfrequency
87G	Phase differential
86G	Lockout Auxiliary

شکل ۶۰

GENERATOR

Protective Zone (GEN1)

Minimum protection for a small machine with low resistance grounding:



Device list for GEN 1

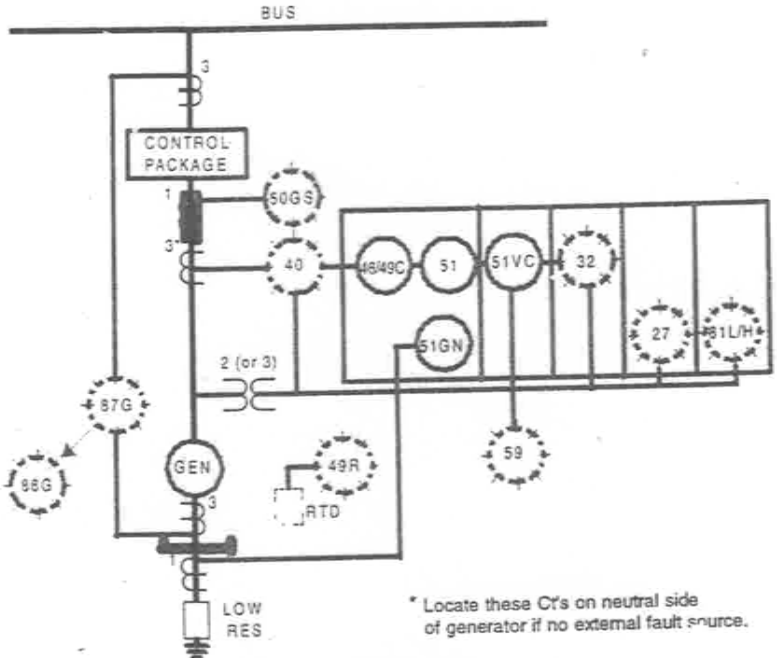
27	Undervoltage
32	Power Direction
40	Loss of Excitation
46	Current Unbalance
49R	Overload (RTD)
50GS	Instantaneous Overcurrent Ground
51GN	Time Overcurrent Ground
51V	Time Overcurrent (V Restraint)
59	Overvoltage
64B	Bus Ground Detection
81L/H	Frequency
86G	Lockout Auxiliary
87G	Differential

شکل ۶۱

GENERATOR

Protective Zone (GEN1A)

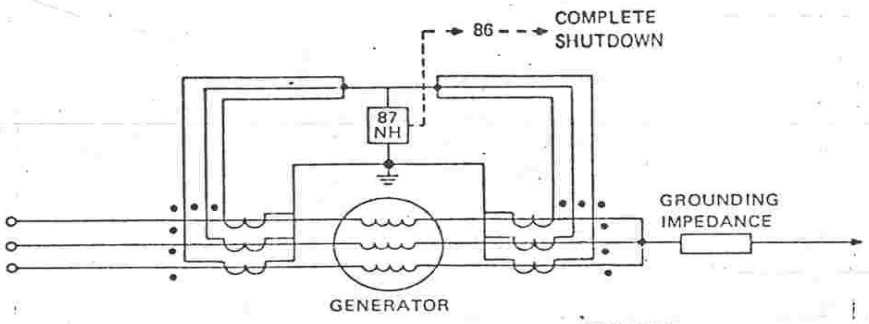
Alternate protection for a small machine with low resistance grounding:



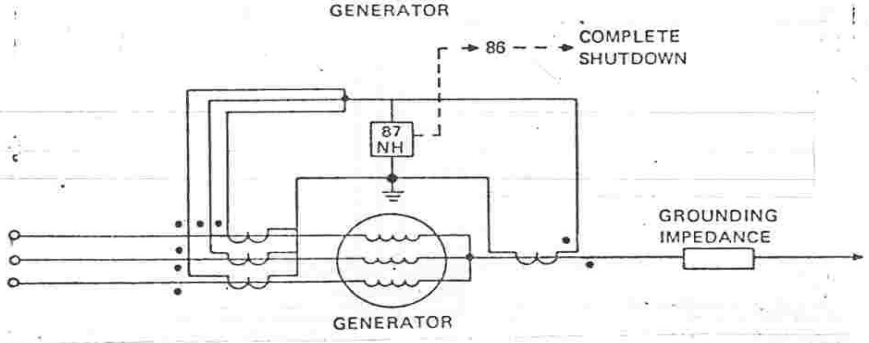
Device list for GEN 1A

27	Undervoltage
32	Power Direction
40	Loss of Excitation
46	Current Unbalance
49R	Overload (RTD)
50GS	Instantaneous Overcurrent Ground
51GN	Time Overcurrent (Ground)
51VC	Time Overcurrent (V Control)
59	Overvoltage
81L/H	Frequency
86G	Lockout Auxiliary
87G	Differential

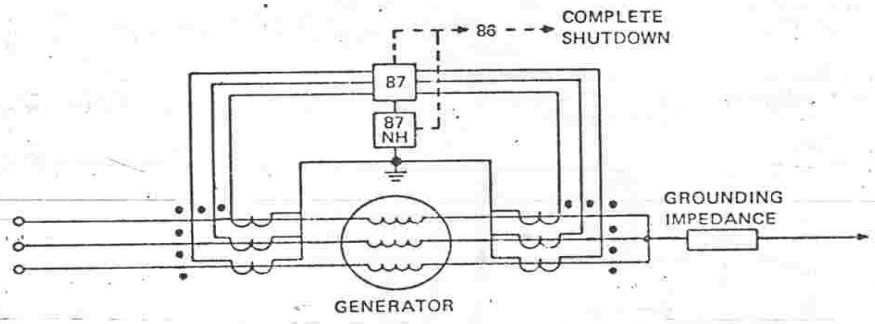
شکل ۶۲



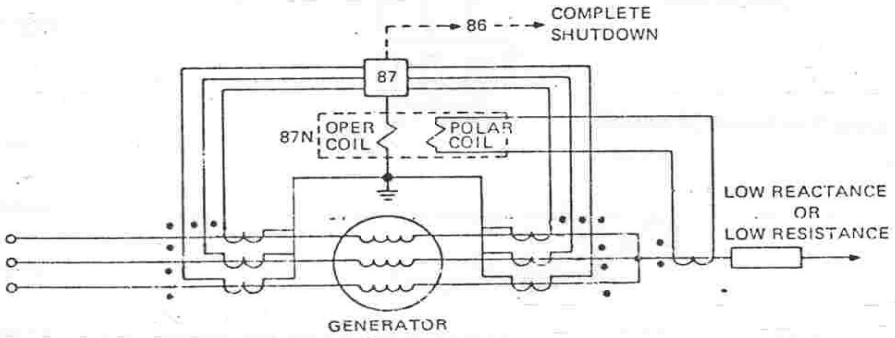
شکل ۱۲-۱۳



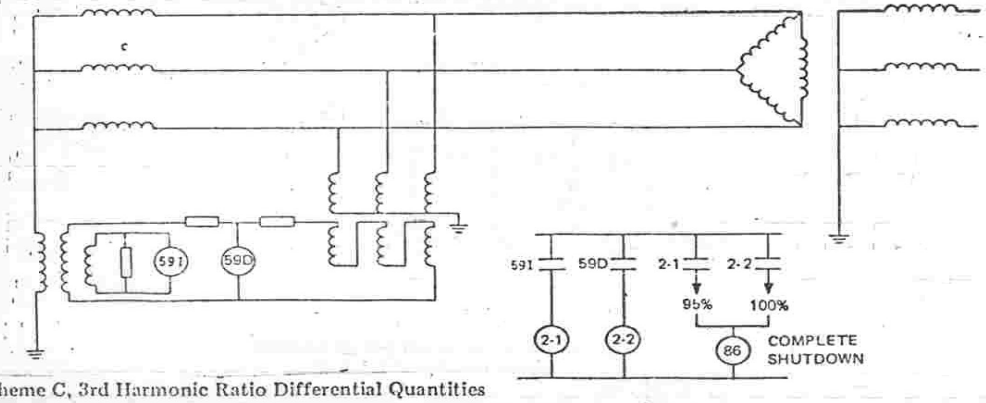
شکل ۶۳



شکل ۶۴

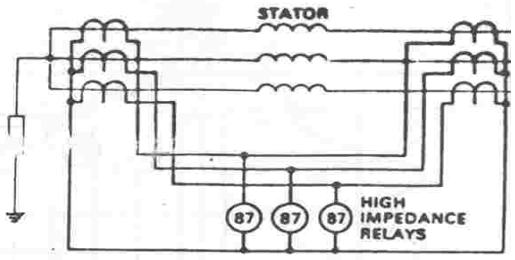


شکل ۶۵

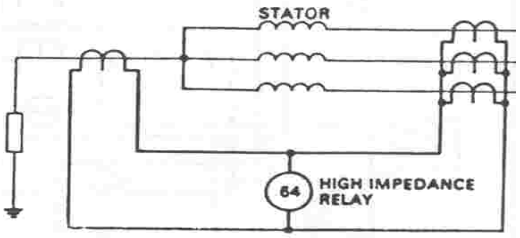


شکل ۶۶

Scheme C, 3rd Harmonic Ratio Differential Quantities

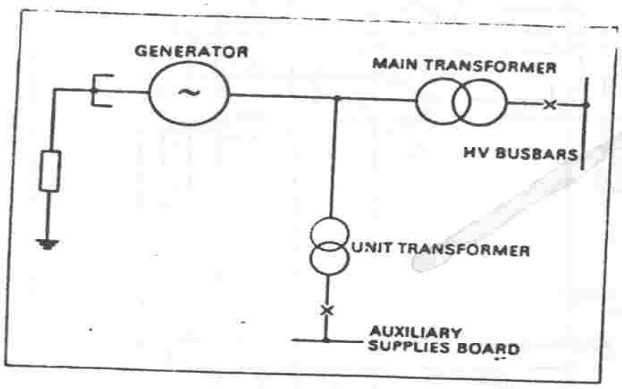


(الف)



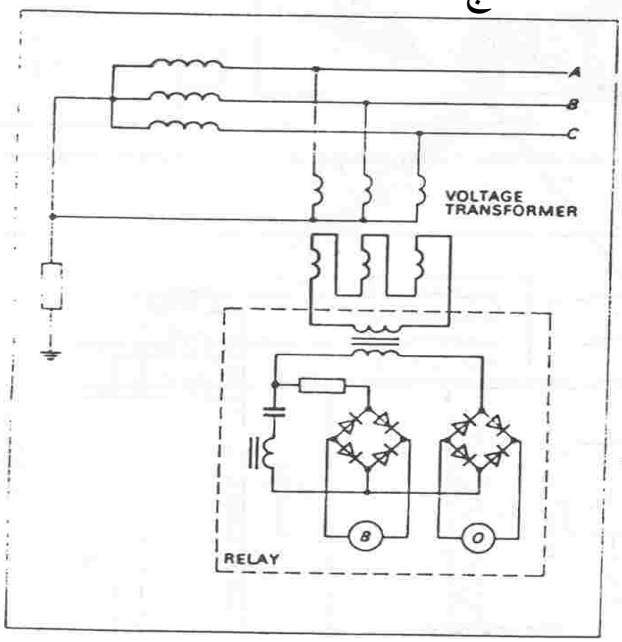
RESTRICTED EARTH FAULT PROTECTION

(ب)

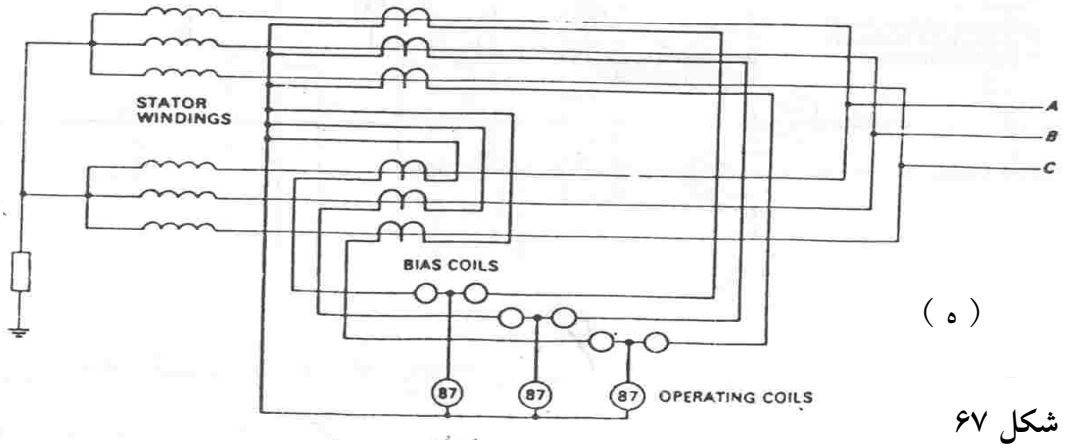


Generator-transformer unit.

(ج)

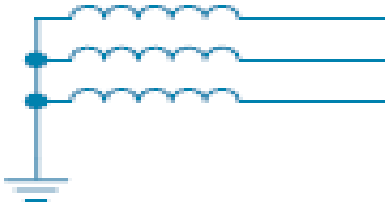


(د)

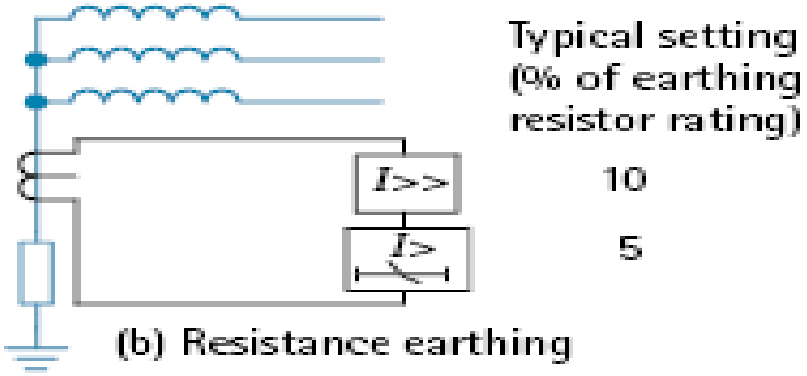


(ه)

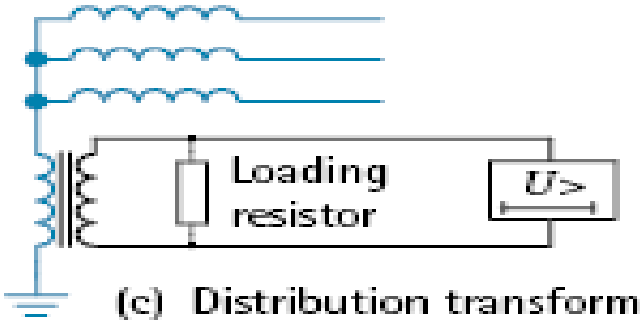
شکل ۶۷



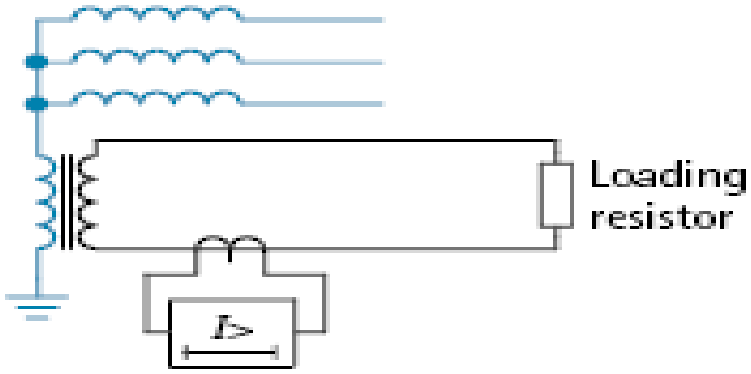
(a) Direct earthing



(b) Resistance earthing

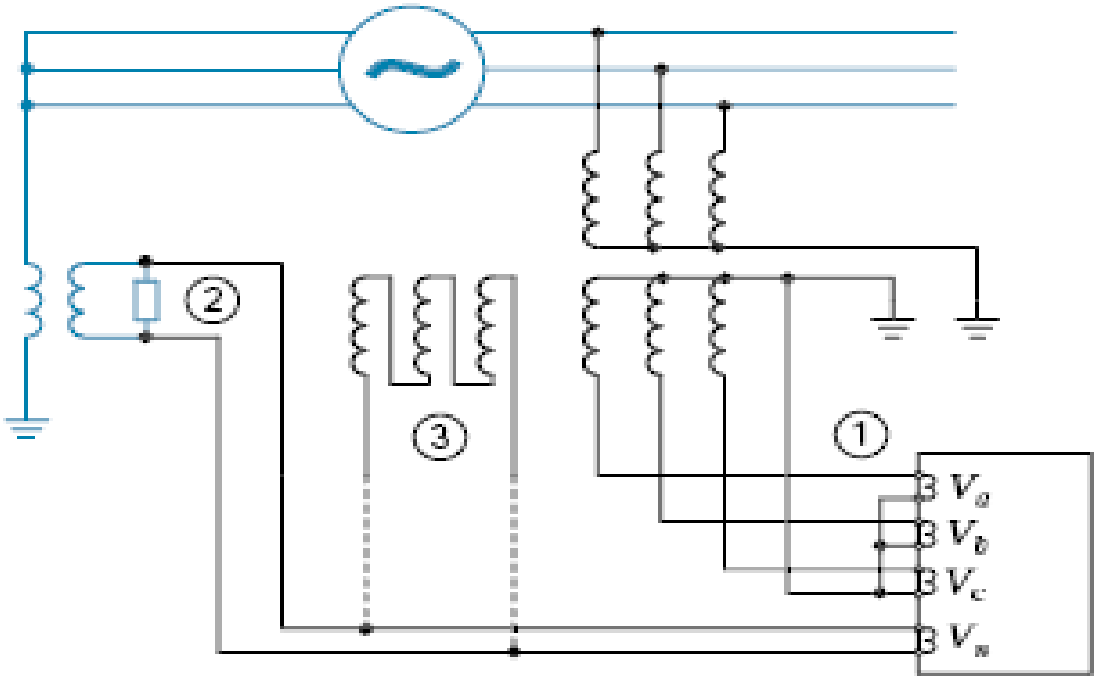


(c) Distribution transformer earthing with overvoltage relay.



(d) Distribution transformer earthing with overcurrent relay

شکل ۶۸ ۹۲

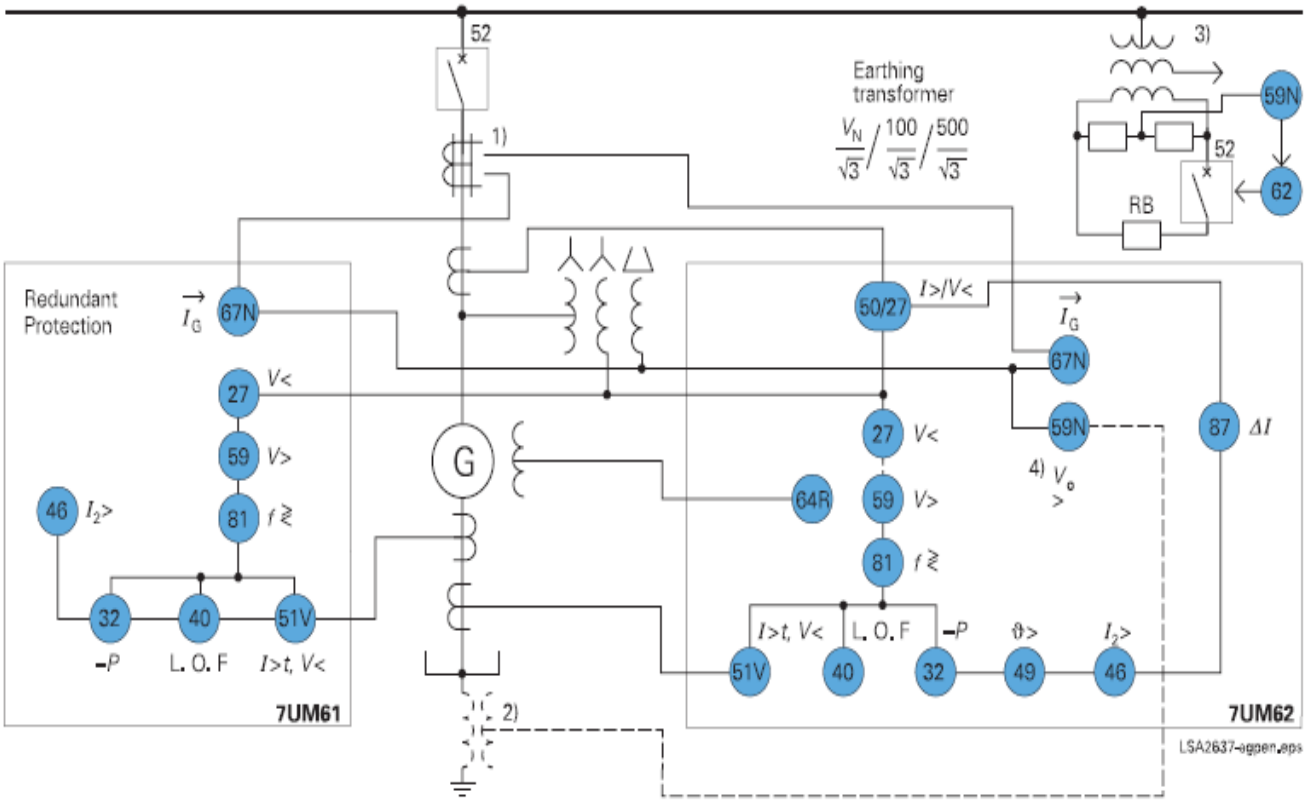


① Derived from phase neutral voltages

② Measured from earth impedance

③ Measured from broken delta VT

شکل ۶۹



شکل ۷۰ ۹۳

Very small generators < 500 kW

شکل ۷۱ و ۷۲

Note:

1) If a core-balance CT is provided for sensitive earth-fault protection, relay 7SJ602 with separate earth-current input can be used.

Small generators, typically 1–3 MW

شکل۷۳

Note:

1) Two VTs in V connection are also sufficient.

Small generators > 1–3 MW

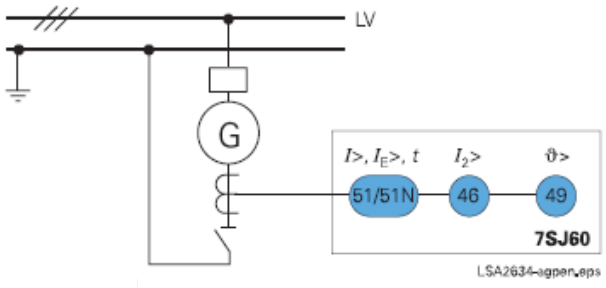
شکل ۷۴

Notes:

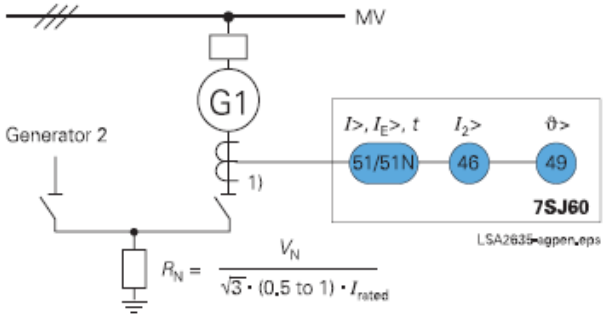
1) Functions 81 and 59 are only required where prime mover can assume excess speed and the voltage regulator may permit rise of output voltage above upper limit.

2) Differential relaying options:
- Low-impedance differential protection 87.
- Restricted earth-fault protection with low ohmic resistance-earthed neutral

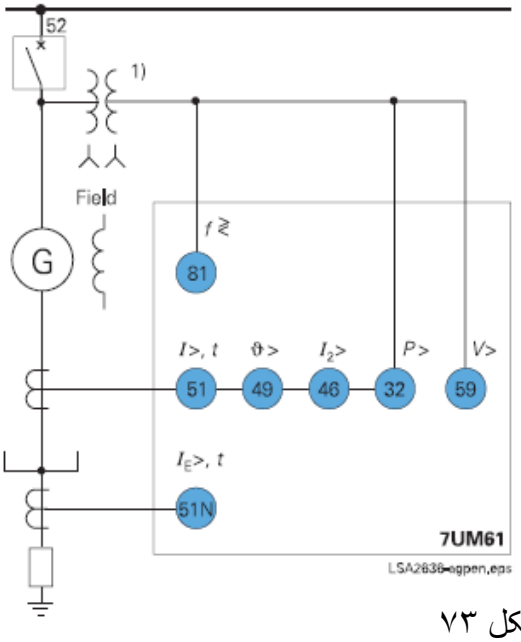
(شکل ۷۴)



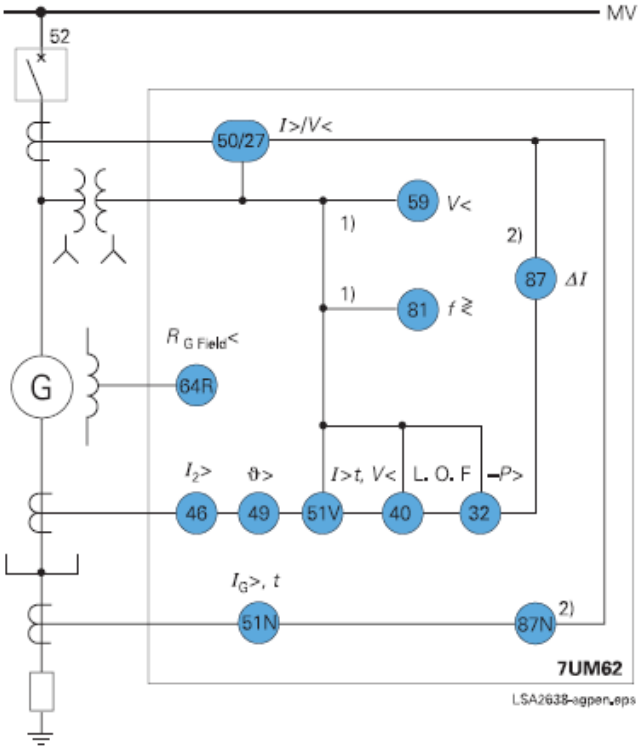
شکل ۷۱



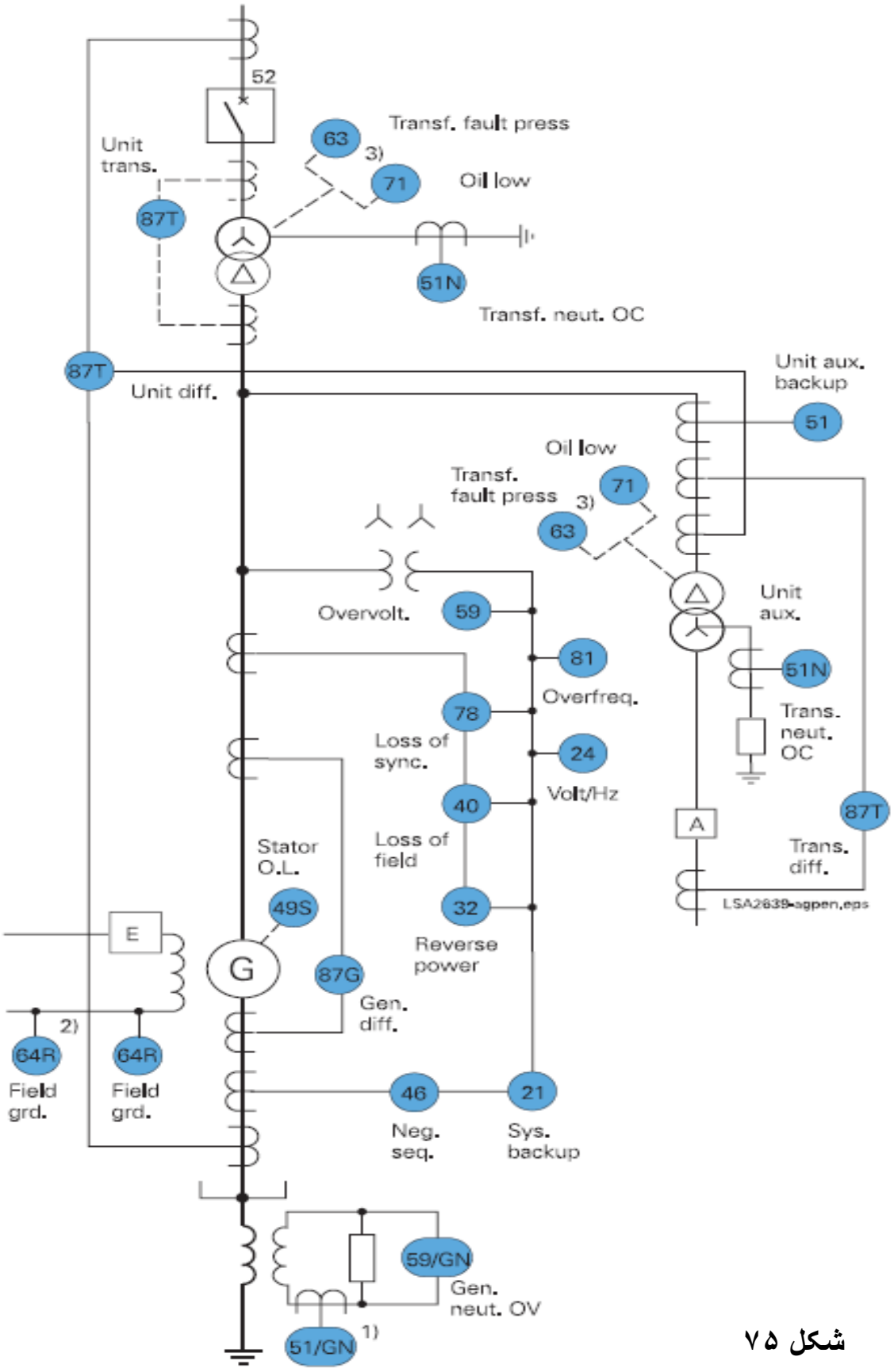
شکل ۷۲



شکل ۷۳



شکل ۷۴


52
Transf. fault press
63
3)
Unit trans.
71
Oil low
87T
51N
Transf. neut. OC
87T
Unit diff.
Unit aux. backup
51
Oil low
Transf. fault press
71
3)
63
Overvolt.
59
Unit aux.
81
51N
Overfreq.
78
Trans. neut. OC
Loss of sync.
24
Volt/Hz
40
87T
A
Loss of field
Stator O.L.
Trans. diff.
49S
32
E
Reverse power
G
87G
Gen. diff.
2)
64R
64R
Field grd.
Field grd.
46
21
Neg. seq.
Sys. backup
59/GN
Gen. neut. OV
1)
51/GN
LSA2639-agpen.eps

شکل ۷۵

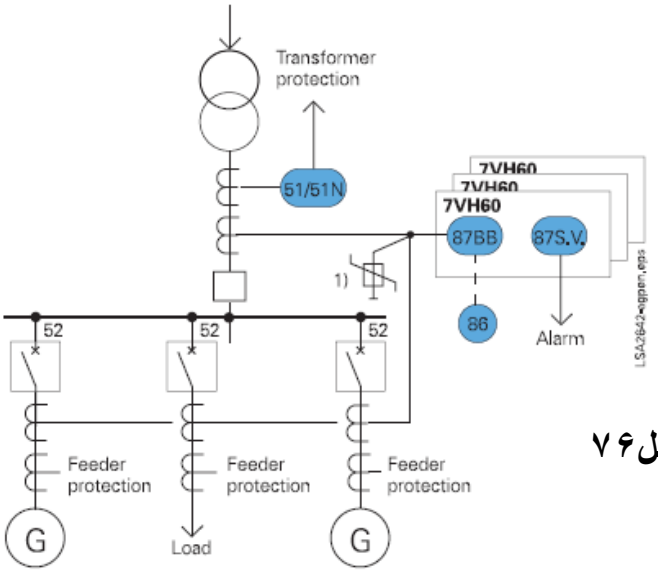
34 High-impedance busbar protection

General hints:

- Normally used with single busbar and 1½ breaker schemes.
- Requires separate class X current transformer cores. All CTs must have the same transformation ratio.

Note:

1) A varistor is normally applied across the relay input terminals to limit the voltage to a value safely below the insulation voltage of the secondary circuits (see page 2/51).



شکل ۷۶

Fig. 2/74

35 Low-impedance busbar protection 7SS60

General hints:

- Normally used with single busbar, 1½ breaker and double busbar schemes.
- Different CT transformation ratios can be adapted by matching transformers.
- Unlimited number of feeders.
- Feeder protection can be connected to the same CT core.

شکل ۷۷

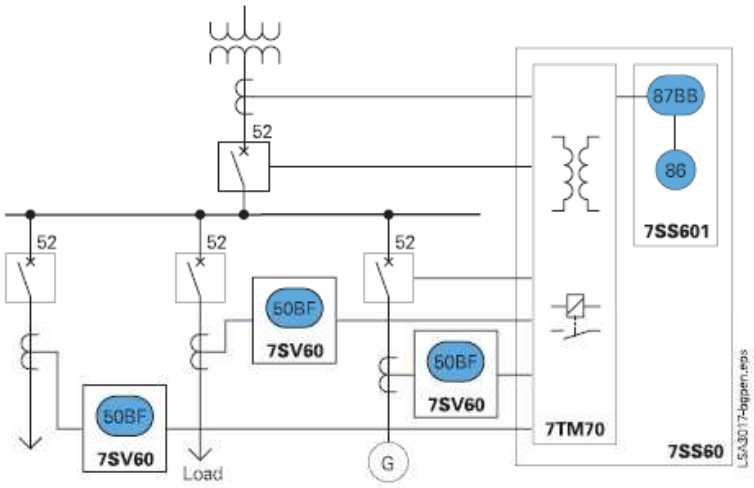
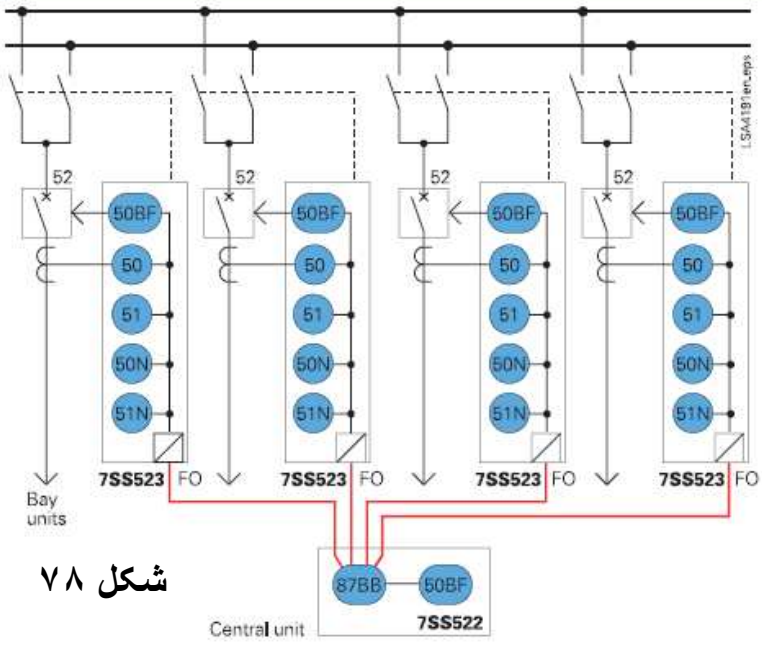


Fig. 2/75

36 Low-impedance busbar protection 7SS52

General hints:

- Preferably used for multiple busbar schemes where an isolator replica is necessary.
- The numerical busbar protection 7SS5 provides additional breaker failure protection.
- CT transformation ratios can be different, e.g. 600/1 A in the feeders and 2000/1 A at the bus tie.
- The protection system and the isolator replica are continuously self-monitored by the 7SS52.
- Feeder protection can be connected to the same CT core.



شکل ۷۸

۶- منابع و مؤاخذ

۶-۱- کاتالوگ ها و دستورالعمل های کاربردی رله های GEC

۶-۲- کاتالوگ ها و دستورالعمل های کاربردی رله های GE

۶-۳- کاتالوگ ها و دستورالعمل های کاربردی رله های SEPAM

۶-۴- کاتالوگ ها و دستورالعمل های کاربردی رله های زیمنس

۶-۵- کتاب THE SCIENCE & ART OF RELAYING