

Capítulo VI

Proteção contra motorização e correntes desbalanceadas, falha de disjuntor e energização inadvertida

Por Geraldo Rocha e Paulo Lima*

Proteção contra motorização e correntes desbalanceadas

As funções de proteção contra motorização ou potência reversa (ANSI-32) e de desequilíbrio de corrente ou sobrecorrente de sequência negativa (ANSI-46) são consideradas proteções para condições anormais de operação do gerador.

Se a turbina perder potência durante a operação normal da máquina, o gerador passa a consumir potência ativa do sistema, como se

fosse um motor. Esta condição é denominada motorização.

Já correntes desequilibradas nos enrolamentos do estator implicam na existência de correntes de sequência negativa. A corrente de sequência negativa produz um campo girante no entreferro da máquina, que também gira na velocidade síncrona, mas com direção reversa se comparada ao campo normal de sequência positiva. Este campo novo induz correntes no rotor, cuja

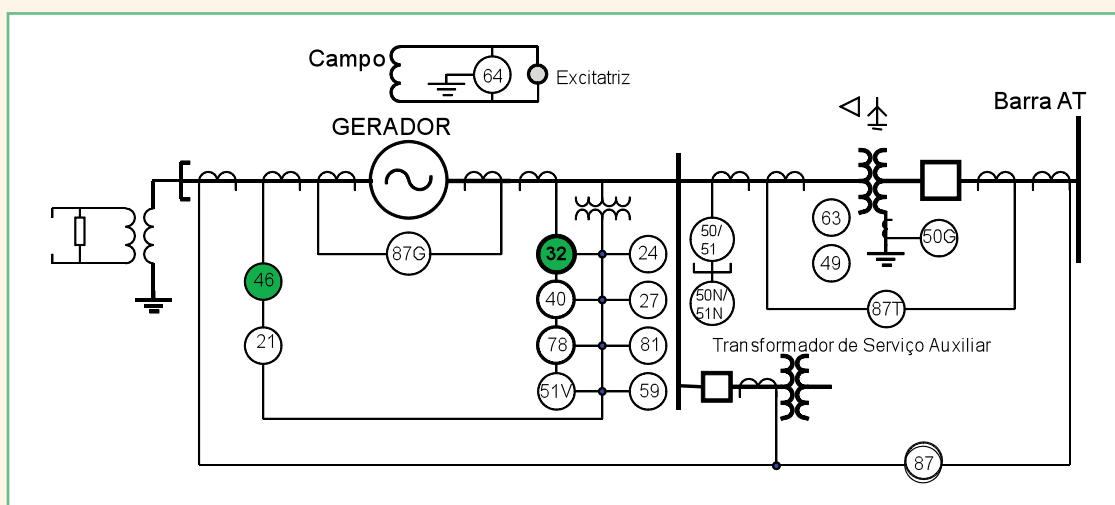


Figura 1 – Proteção de potência reversa (32) e correntes desbalanceadas (46).

frequência é o dobro da frequência síncrona. Essas correntes causam sobreaquecimento no rotor e podem eventualmente causar danos ao rotor.

Proteções de potência reversa (Ansi 32)

O plano complexo de potência mostrado na Figura 2 serve para analisar o fluxo de potência ativa e reativa entrando e saindo do gerador. O diagrama mostra que a máquina opera como um motor quando absorve potência ativa.

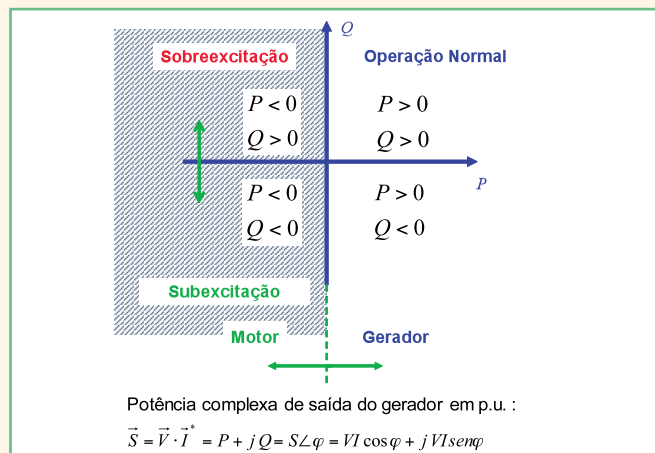


Figura 2 – Plano complexo de potência.

Como já mencionado anteriormente, a motorização ocorre quando há perda de potência da turbina durante operação normal da máquina de um motor. Esta condição é denominada motorização.

Em turbinas a vapor, a motorização ocorre quando é cortado o suprimento de vapor. Nas turbinas a gás e diesel, a motorização ocorre quando é cortado o suprimento de combustível. Em turbinas hidráulicas, a perda parcial ou total da água vinda pelo conduto forçado resulta na redução da potência mecânica para o gerador.

A motorização pode causar danos à turbina. Quando o fluxo normal de vapor é interrompido, a refrigeração natural que ele produzia também será perdida, gerando sobreaquecimento nas lâminas de ferro do estator e no rotor da turbina.

Nas turbinas a gás, as engrenagens de acoplamento da turbina com outros elementos, como o compressor, podem sofrer danos quando ocorre a motorização. Já em um motor a diesel, se for aplicada alguma potência proveniente do gerador em uma condição de motorização, o motor pode sofrer sérios danos no acoplamento mecânico.

Em turbinas hidráulicas, a motorização pode produzir

cavitações, que podem causar danos nas lâminas. Em alguns casos, a turbina hidráulica pode ser projetada para operar como compensador síncrono, sendo insignificantes os danos resultantes. Nesses casos, não é necessária a proteção contra motorização.

A Figura 3 mostra uma comparação dos valores típicos de potência reversa necessários para girar um gerador com a velocidade síncrona. Esses valores são típicos e os valores reais devem ser fornecidos pelos fabricantes, sendo de grande importância na escolha do tipo de esquema de proteção e dos ajustes necessários para minimizar os danos na máquina.

Nota-se que algumas turbinas precisam de 0,2% a 2% da potência nominal para girar a máquina à velocidade síncrona. Para detectar essa condição, um relé tem de ser muito sensível. Esses valores são conhecidos como potências de motorização.

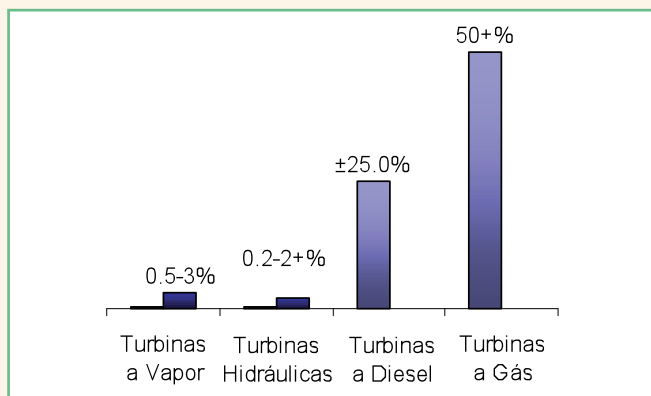


Figura 3 – Valores típicos de potência reversa necessários para girar um gerador com velocidade síncrona.

Um relé de potência reversa ou direcional de potência mede a potência ativa:

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

O relé pode ter uma curva de tempo-definido ou tempo-inverso, dependendo do projeto do relé. A Figura 4 mostra a característica da proteção de potência reversa no plano complexo de potência. Esta proteção em particular é composta de dois elementos, 32P1 e 32P2. Ambos são de tempo definido.

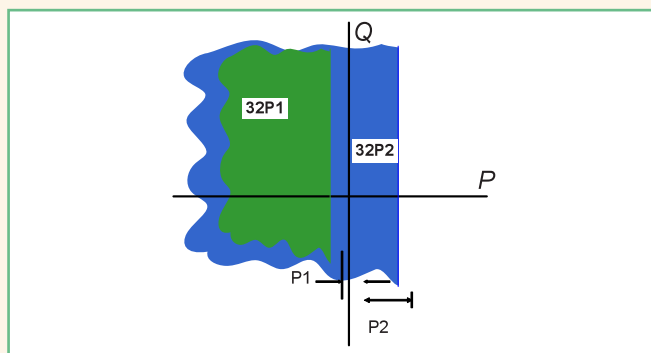


Figura 4 – Elemento direcional de potência.

O elemento 32P1 detecta a potência reversa. Ajuste o limite do elemento em 50% da potência de motorização, com temporização entre 15 e 30 segundos, para evitar operação durante oscilações transitórias de potência. Esses valores podem variar dependendo das recomendações do fabricante da turbina.

O segundo elemento é usado para proteger as turbinas a vapor de danos que podem ocorrer nos casos de baixos valores de geração. O tipo de turbina a vapor usada vai determinar os ajustes do limite e a temporização do segundo elemento (32P2).

Na ocorrência de eventos de potência reversa, deverão ser desligados os disjuntores principais do gerador, o disjuntor de campo e a turbina.

Proteções de correntes desequilibradas (Ansi 46)

Correntes desequilibradas nos enrolamentos do estator implicam na existência de correntes de sequência negativa. A corrente de sequência-negativa produz um campo girante no entreferro da máquina, que gira na velocidade síncrona, mas com direção reversa se comparada ao campo normal de sequência positiva.

Este campo induz correntes no rotor, cuja frequência é o dobro da frequência síncrona. Essas correntes de frequência dupla causam sobreaquecimento no rotor e podem eventualmente causar danos ao rotor.

A temperatura das bordas, dos anéis e do núcleo de ferro pode atingir valores intoleráveis. Os danos resultantes podem causar paradas prolongadas para reparo do gerador.

Curtos-circuitos desequilibrados não são a única causa de desbalanços nos enrolamentos do gerador. Falta série, como condutores abertos, um ou dois, podem também produzir uma quantidade relativamente grande de sequência negativa. Condições diferentes, tais como cargas desbalanceadas e assimetria das linhas de transmissão, também podem causar desequilíbrios nos enrolamentos do estator.

É prática comum equipar o gerador com proteção contra condições externas de desbalanço que podem causar danos à máquina. Os relés microprocessados modernos são capazes de detectar correntes de sequência negativa de valores tão baixos quanto a capacidade contínua do gerador.

A Figura 5 mostra as características típicas dessa proteção. O valor mínimo de partida (pickup) pode ser ajustado em 2% da corrente nominal do gerador.

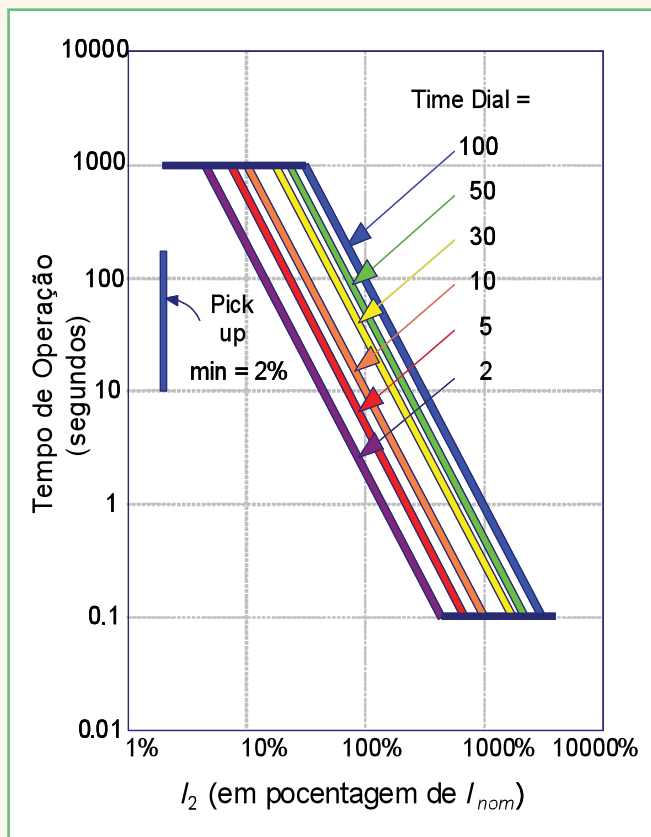


Figura 5 – Sobrecorrente de sequência negativa.

O diagrama da Figura 6 mostra uma proteção de gerador com capacidade de sequência negativa contínua de 8% e tempo curto de 10 segundos.

O relé de proteção deve ser ajustado imediatamente abaixo desses limites para fornecer a melhor proteção para correntes desbalanceadas. Um alarme de tempo definido com nível bem baixo, ajustado com partida em torno de 3% e temporização de 60 segundos, vai avisar o operador da existência de correntes desequilibradas causadas por um condutor aberto.

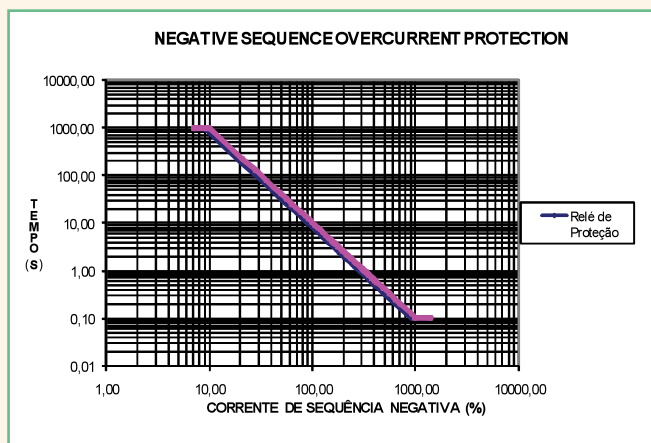


Figura 6 – Proteção de sobrecorrente de sequência negativa.

O excesso de corrente desequilibrada vai provocar falha nos equipamentos e deve ser considerado como um problema elétrico grave. Os disjuntores principais do gerador devem ser desligados em caso de correntes excessivamente desbalanceadas.

Falha de disjuntor e energização inadvertida

Se o disjuntor do gerador ou do grupo gerador transformador falhar quando receber uma ordem de trip de um dos relés de proteção do gerador, os disjuntores locais de retaguarda devem ser abertos automaticamente para eliminar o defeito que causou originalmente a atuação dos dispositivos de proteção. A proteção de falha de disjuntor propicia essa abertura automática dos disjuntores para eliminar a falta.

Basicamente, o relé de falha de disjuntor (50BF) é um dispositivo de sobrecorrente de tempo definido cuja operação é iniciada pela proteção principal (a mesma que dá trip no disjuntor principal). Se a ordem de trip e a sobrecorrente persistirem além de um certo tempo (por exemplo, 0,2 s), o disjuntor principal é considerado como tendo falhado na abertura e o 50BF emite um comando de trip para todos os disjuntores de retaguarda locais.

A proteção de falha de disjuntor deve considerar o arranjo de barras da SE.

Barra simples

Em um arranjo tipo barra simples, se o disjuntor 1 receber uma ordem de trip e não abrir, o esquema de falha de disjuntor deverá abrir os disjuntores 2, 3 e 4 conforme mostra a Figura 7.

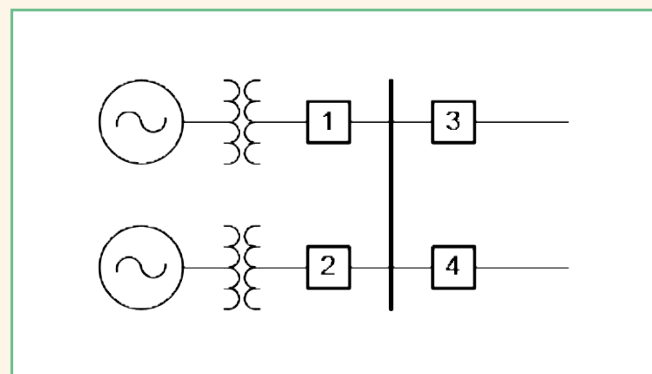


Figura 7 – Arranjo de barra simples.

Barra em anel

Conforme a Figura 8, para um barramento em anel, somente um disjuntor adicional na subestação necessita

ser desligado. Com este esquema, se ocorrer um defeito no gerador da esquerda, a proteção envia um sinal de trip para os disjuntores 1 e 2.

Se o disjuntor 1 falhar na abertura, o esquema de falha de disjuntor associado deverá enviar um sinal de trip para os disjuntores 2 e 3.

Adicionalmente, o esquema de falha de disjuntor deverá também enviar um sinal de transferência direta de trip para o terminal remoto da linha que sai do ponto entre os disjuntores 1 e 3.

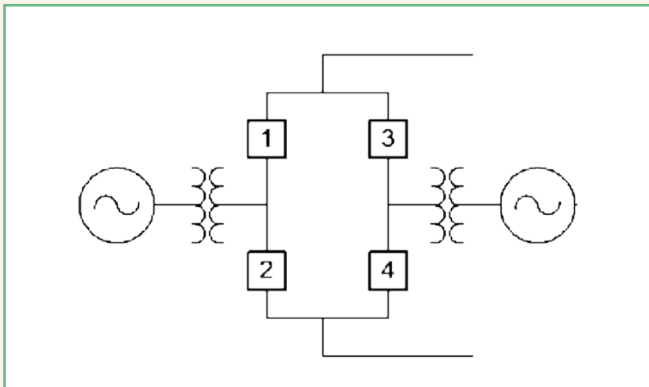


Figura 8 – Arranjo de barra em anel.

Disjuntor e meio

No caso de um arranjo do tipo disjuntor e meio, o esquema de falha de disjuntor depende do disjuntor envolvido. No esquema da Figura 9, se ocorrer um defeito no gerador, a proteção dará trip nos disjuntores 1 e 2.

Se o disjuntor 1 falhar na abertura, o esquema de falha de disjuntor deverá dar trip nos disjuntores 2 e 4 e em qualquer outro disjuntor que esteja conectado à barra esquerda. Se o disjuntor 2 falhar na abertura, o esquema de falha de disjuntor deverá dar trip nos disjuntores 1 e 3.

O esquema deverá também enviar um sinal de transferência de trip direto para o terminal remoto da linha que sai do ponto entre os disjuntores 2 e 3.

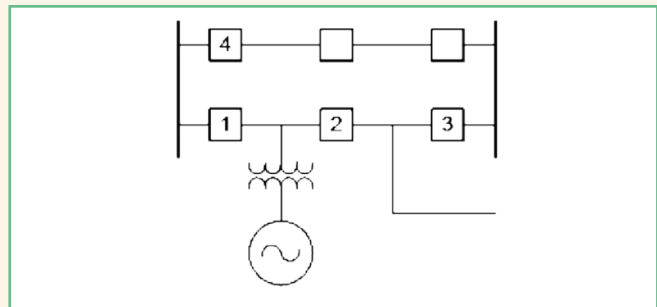


Figura 9 – Arranjo disjuntor e meio.

Esquema de proteção básico

O diagrama lógico mostrado na Figura 10 exemplifica um esquema básico de falha de disjuntor. Esse esquema básico é para um arranjo de barra simples com disjuntor simples. Durante uma falta, o elemento 50 e o relé de proteção da linha são habilitados. A saída da porta AND é ativada e parte o temporizador 62. Se as entradas do trip e do elemento 50 permanecerem ativadas até esgotar o tempo do 62, é declarada uma condição de falha do disjuntor.

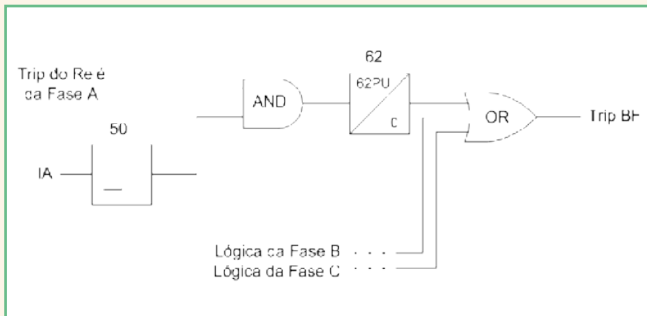


Figura 10 – Esquema de proteção básico.

O esquema é resetado quando ocorrer o dropout de qualquer um dos elementos.

Esquema de proteção multidisjuntores

Este esquema é recomendado para os arranjos de disjuntor simples, disjuntor e meio e barra em anel. Em um arranjo complexo de barramento, cada disjuntor deve ter seu próprio temporizador ou temporizadores.

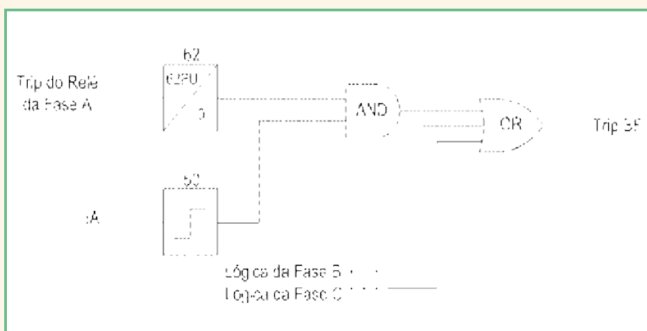


Figura 11 – Esquema de proteção multidisjuntores.

Quando a entrada do trip é habilitada, ocorre a partida do temporizador 62. Se o elemento 50 estiver habilitado quando se esgotar o tempo do 62, o esquema declara uma condição de falha de disjuntor. Se a entrada do trip for desativada antes de expirar o tempo do 62, o temporizador reseta. Neste esquema, a temporização é iniciada pelo comando de trip. No esquema básico, a temporização não começava até que o elemento 50 também fosse ativado.

Em aplicações de disjuntor e meio ou barra em anel, o elemento 50 de um disjuntor pode não ser ativado até a abertura do disjuntor associado. Nestas circunstâncias, este esquema reduzirá o tempo total de eliminação do defeito do disjuntor.

Proteção contra energização inadvertida

Geradores conectados em uma configuração disjuntor e meio ou barra em anel possuem grande flexibilidade. Contudo, essas configurações também aumentam a possibilidade de um erro operacional que resulte em energização acidental do gerador, conforme mostra a Figura 12.

A flexibilidade operacional da configuração disjuntor e meio ou barra em anel permite que um disjuntor seja retirado de operação para manutenção enquanto o gerador permanece operando. Quando o gerador é retirado de operação, os disjuntores geralmente retornam à operação para completar um vão ou o anel. Nesses casos, uma chave seccionadora isola o gerador. Os esquemas de controle devem ser cuidadosamente projetados para evitar o fechamento da seccionadora em ocasiões não apropriadas.

Para completar o problema, quando o gerador é retirado de operação, algumas proteções também podem ser retiradas de serviço para manutenção. Embora não esteja representado na figura, um gerador também pode ser energizado acidentalmente pelo serviço auxiliar.

Outra possibilidade de ocorrência de energização inadvertida em geradores é o flashover em disjuntores. Os disjuntores de alta velocidade, com espaçamento pequeno entre os contatos, podem sofrer stress dielétrico severo. A probabilidade de descargas (flashover) é muito maior imediatamente antes da sincronização ou imediatamente após a abertura do disjuntor.

Nessas ocasiões, podem surgir tensões de até 2.0 p.u. entre os contatos do disjuntor devido ao escorregamento do gerador em comparação ao sistema. Quando ocorre uma descarga, geralmente são envolvidos um ou dois pólos, resultando em um fluxo significativo de correntes desequilibradas. Este é um tipo de falta no disjuntor que deve ser detectada e isolada o mais rápido possível.

Quando um gerador é retirado de operação, a frequência cai e a saída do relé de subfrequência é habilitada. Esta saída permanece habilitada até que o gerador volte a operar com a frequência do sistema. O contato de saída de um relé de sobrecorrente com ajuste sensível pode ser colocado em série com a saída do relé de subfrequência. Durante uma condição de energização indevida, a operação do relé de sobrecorrente pode ser usada para isolar o gerador.

Igualmente, os relés de subtensão também podem ser usados

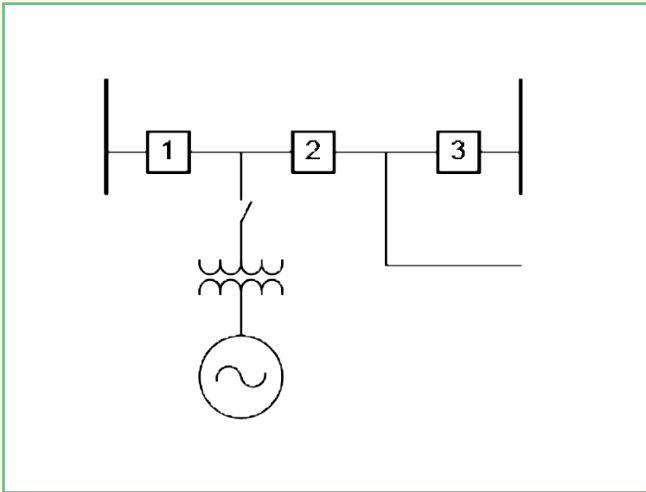


Figura 12 – Arranjo disjuntor e meio.

para supervisionar um relé de sobrecorrente com ajuste sensível.

Um relé de sobrecorrente direcional também pode ser usado. Porém, as características direcionais devem ser escolhidas cuidadosamente de forma que não comprometam a capacidade do gerador em condições subexcitação.

Os elementos de sobrecorrente devem ser verificados para garantir que os limites térmicos do gerador não sejam excedidos durante períodos de geração máxima. Um relé de

impedância pode ser instalado olhando para dentro do gerador e proporcionando proteção contra energização indevida. Deve ser realizado um estudo de estabilidade para garantir que o relé não atue durante oscilações de potência estáveis.

Como essas soluções requerem uma fonte de tensão, as práticas de operação devem ser analisadas. Talvez seja necessário usar uma fonte de tensão separada para a proteção de energização inadvertida.

**GERALDO ROCHA é engenheiro eletricitista e especialista em Proteção de Sistemas Elétricas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). É atualmente gerente de Marketing e Engenharia de Aplicação na Schweitzer Engineering Laboratories e professor titular do curso P4 - Filosofias de Proteção de Geradores da Universidade SEL.*

PAULO LIMA é graduado em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Itajubá, com ênfase em Sistemas Elétricos. Atua na SEL como engenheiro de aplicação e suporte técnico para clientes nos serviços e soluções para controle, automação e proteção nas áreas de geração, transmissão, distribuição.

FIM

Acesse todos os capítulos desta série em www.osetoreletrico.com.br. Dúvidas e sugestões podem ser enviadas para redacao@atitudeeditorial.com.br