



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Aplicação de Disjuntores em Geradores de Média Potência

Lucilius C. Pinto  
ABB - Brasil  
lucilius.pinto@br.abb.com

Marcelo Pezolato  
ABB – Brasil  
marcelo.pezolato@br.abb.com

Alexandre Arcon  
ABB - Brasil  
alexandre.arcon@br.abb.com

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Disjuntor, aplicação de disjuntor, disjuntor de gerador.

#### **RESUMO**

O texto apresenta a aplicação de disjuntor nas proximidades de gerador de média potência. O comportamento da corrente de curto circuito e os efeitos sobre a interrupção dos disjuntores é abordado. São apresentados exemplos típicos de aplicação e possíveis soluções.

#### **1 - INTRODUÇÃO**

Alguns cuidados adicionais devem ser tomados na especificação de disjuntores de média tensão aplicados nas proximidades de geradores de médio porte. Aspectos como componente DC, assimetria da corrente de curto-circuito, relação X/R do circuito, presença de “zeros retardados” na corrente, tensão de restabelecimento transitória (TRV), faltas em situação de perda de sincronismo apresentam comportamento não usual quando comparados com outras aplicações. A necessidade de redução nas perdas e alto rendimento levam os fabricantes a construir geradores com resistências internas menores, entretanto esta característica afeta a relação X/R do circuito provocando efeitos sobre a constante de tempo do circuito e causando retardos na passagem por zero da corrente de curto circuito.

#### **2 - ASPECTOS PARTICULARES DA APLICAÇÃO**

Os disjuntores em corrente alternada normalmente interrompem a corrente de curto-circuito na passagem desta por zero visto que neste momento não há energia sendo injetada pelo sistema sobre o arco elétrico. Requisitos básicos tais como corrente e tensão nominal, capacidade de Interrupção e níveis de isolamento são geralmente conhecidos e considerados na especificação de disjuntores. Em geral, estas características são normalizadas e estes parâmetros são definidos na norma em função de características típicas dos sistemas e cobrem as aplicações em geral.

Os valores normalizados (1) que em geral são aplicáveis são os indicados a seguir:

- Valor de crista da corrente de curto circuito assimétrica sub-transitória:  $2,6 \times$  Valor eficaz da corrente de curto circuito sub-transitória simétrica (para 60 Hz).
- Componente DC da corrente de curto circuito: 30 % (considerando tempo de abertura de 45 ms mais  $\frac{1}{2}$  ciclo).
- Relação X/R do circuito menor que 17 ou constante de tempo do circuito menor que 45 ms.
- Presença de “zeros retardados” na corrente de curto circuito: não existente.
- Tensão de restabelecimento transitória: Valor de crista, taxa de crescimento e envoltória conforme (1) dependendo da classe de tensão e percentual da capacidade de interrupção.

Requisitos especiais para especificação de disjuntores de média tensão nas saídas de geradores deve ser motivo de atenção especial. No caso de geradores de grande porte (acima de 100 MVA) um estudo detalhado do comportamento da rede é normalmente realizado e totalmente justificado. O mesmo não ocorre em instalações com geradores de médio porte (entre 10 a 100 MVA). A literatura existente (2, 3, 4) aborda geralmente as aplicações de grandes geradores. Nestes casos é reconhecida a presença de “zeros retardados” na corrente, significativo valor de constante de tempo e conseqüente, elevada componente DC na corrente de curto circuito. Em geradores de médio porte estes aspectos não são geralmente levados em consideração. Um exemplo típico deste comportamento é indicado a seguir em uma planta industrial alimentada por gerador de 80 MVA.

### 3 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Dados da instalação:

Rede de alta tensão U

Potência de curto-circuito  $SK'' = \infty$  MVA

Tensão nominal  $U_r = 69.00$  kV

Transformador TR

Potência nominal  $SR'' = 80.00$  MVA

Impedância de curto-circuito  $U_k = 14.00$  %

Corrente nominal  $I_r'' = 3138$  A

Corrente de curto circuito  $I_k'' = 24.64$  kA

## Gerador G

Tensão nominal = 13,8 kV

Frequência: 60 Hz

Potência aparente:  $S_R = 80.00$  MVA

Corrente nominal:  $I_R = 3347$  A

Corrente de curto circuito sub-transitória  $I_{k''} = 21.66$  kA

Reatância sub-transitória:  $X_{d''} = 17.00$  %

Reatância transitória:  $X_{d'} = 26.80$  %

Reatância permanente:  $X_d = 223.00$  %

Constante de tempo sub-transitória:  $T_{d''} = 31$  ms

Constante de tempo transitória:  $T_{d'} = 761$  ms

Constante de tempo permanente:  $T_a = 272$  ms

## Painel PA

Contribuição para curto-circuito  $I_{k''} = 10.00$  kA

## Transformador auxiliar TA

Potência nominal  $S_{R''} = 3.15$  MVA

Impedância de curto-circuito  $U_k = 4.00$  %

Corrente nominal  $I_{R''} = 24$  A

Contribuição para curto-circuito  $I_{k''} = 0.58$  kA

## Grupo de Transformadores auxiliares GTA

Potência nominal  $S_{R''} = 36.65$  MVA

Impedância de curto-circuito  $U_k = 6.00$  %

Corrente nominal  $I_{R''} = 282$  A

Contribuição para curto-circuito  $I_{k''} = 6.29$  kA

Diagrama unifilar da instalação:

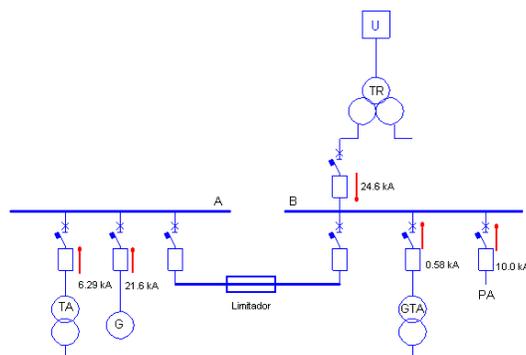


Fig 1 : Diagrama unifilar simplificado da instalação

#### 4 - DESCRIÇÃO:

O gerador e o transformador principal fornecem energia ao barramento onde estão conectados os painéis e transformadores auxiliares.

A corrente de contribuição do gerador para uma falta na barra A deve ser interrompido pelo disjuntor associado ao gerador. Um limitador de corrente foi instalado na interligação entre barra A e B de forma a limitar a corrente de curto-circuito abaixo de 40 kA.

Resultado do cálculo de curto-circuito e respectivas contribuições:

Curto-circuito na Barra A:

Contribuição da barra B e TA:

$$IkB'' = Ik''GTA + Ik''TR + Ik''PA$$

$$IkB'' = 41.51 \text{ kA}$$

Contribuição do gerador G:

$$IkG'' = 21.66 \text{ kA}$$

#### 5 - SIMULAÇÕES

O sistema elétrico foi modelado e simulações foram realizadas para verificar o comportamento da corrente de curto circuito no tempo. Na figura (2) observa-se a ocorrência de “zeros retardados” no gráfico da corrente de contribuição do Gerador na fase R para uma falta na barra A.

Resultados obtidos:

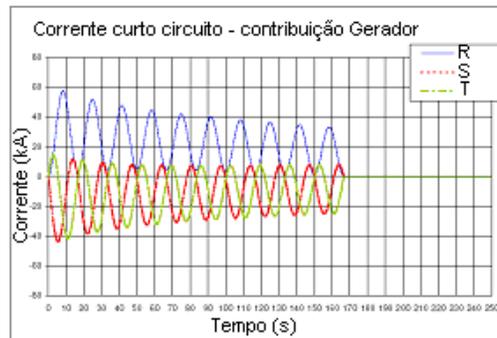


fig.2 : Forma de onda da corrente de curto-circuito

Em função das características apresentadas na forma de onda da corrente, verifica-se que a corrente de falta na fase R não passa por zero por cerca de 160ms.

A simulação é realizada considerando a abertura do disjuntor após este tempo, quando então a interrupção torna-se favorável. Neste caso a interrupção da corrente na fase S ocorre depois de 166,6 ms. Nas fases R e T a corrente é interrompida após 166,8 ms. Esta característica da corrente de falta nas proximidades de geradores é chamada de “zeros retardados”.

## 6 - SOLUÇÕES ALTERNATIVAS APRESENTADAS

Algumas soluções foram analisadas no sentido de encontrar uma forma de aplicação adequada para os disjuntores, visto que estes normalmente são projetados para interromperem a corrente na passagem desta por zero. A seguir são apresentadas as soluções analisadas:

### 6.1 - Alternativa N1

Na solução N 1, para uma falta na barra A, o limitador opera reduzindo a corrente total de falta para menos que 40 kA. Desta forma o sistema passa a operar separadamente (barra A e B) e a contribuição do gerador para a falta na barra A deve ser interrompida pelo disjuntor do gerador. A proteção que opera sobre o disjuntor do gerador deve ser retardada e uma filosofia de seletividade lógica (SL) deve ser adotada nas proteções do circuito do disjuntor do gerador e circuitos alimentadores ligados na barra A de forma que o tempo de operação da proteção e de abertura do disjuntor do gerador para uma falta na barra A seja maior que 160ms. Após este tempo, a corrente de contribuição do gerador já foi amortecida e apresenta zeros em todas as fases. A desvantagem desta solução é a necessidade de retardar a operação da proteção do gerador.

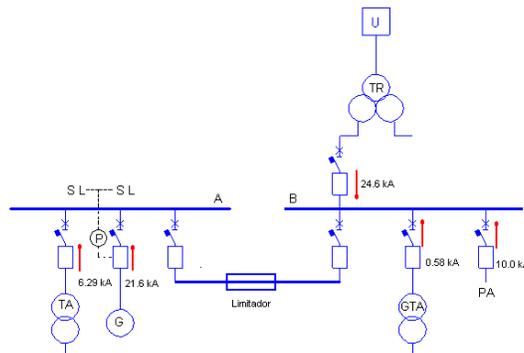


Fig 3 – Diagrama simplificado-alternativa N1

### 6.2 - Alternativa N2

Na solução N2 é utilizado um transformador de relação 1:1 entre o gerador e a barra A. Este transformador deve ter uma potência aparente de 80 MVA e impedância de no mínimo 10 %. Desta forma para uma falta na barra, a corrente de contribuição do gerador não vai apresentar “zeros retardados” devido ao amortecimento causado pela inclusão do transformador. A contribuição do gerador será reduzida para 13,6 kA devido à impedância do transformador. A corrente de falta total na barra será limitada abaixo de 40 kA pelo Limitador. A proteção pode operar de forma convencional. As desvantagens desta solução são o elevado custo, as dificuldades de instalação, a queda de tensão e as perdas permanentes no transformador.

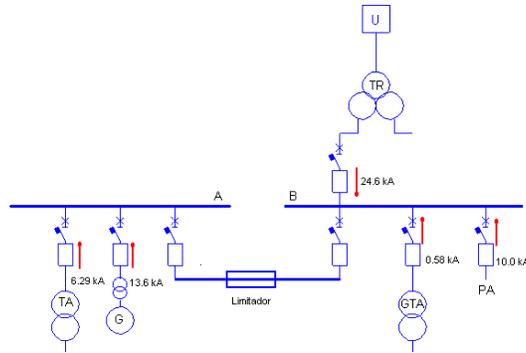


Fig 4 – Diagrama simplificado -Alternativa 2

### 6.3 - Alternativa N3

Na solução N.3 o transformador 1:1 é substituído por um reator instalado entre o gerador e a barra A. Este reator deve ter uma impedância de 10 % e uma resistência de 3,3 m ohm. Desta forma para uma falta na barra, a corrente não vai apresentar “zeros retardados” devido ao amortecimento causado pela inclusão do reator. Também a contribuição do gerador será reduzida para 13,6 kA devido à presença do reator. A corrente de falta total na barra será limitada abaixo de 40 kA pelo limitador. A proteção pode operar de forma convencional seletiva. Embora o custo do reator seja inferior ao do transformador, este também apresenta desvantagens como custo elevado, dificuldades de instalação, queda de tensão, instabilidade transitória e presença de indução nas proximidades. Um segundo limitador de corrente poderia ser utilizado em paralelo com o reator de forma a evitar a perda permanente no reator. Em regime normal a corrente do gerador passaria pelo limitador, e no caso de falta na barra, o limitador abriria rapidamente e o reator limitaria a corrente de falta a valor conveniente.

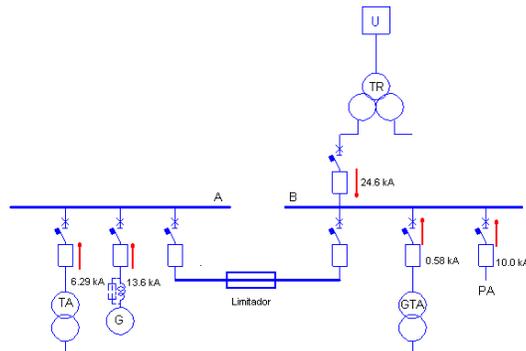


Fig 5 - Diagrama simplificado - Alternativa 3

### 6.4 - Alternativa N4

Na solução N. 4 o reator é substituído por um resistor instalado entre o gerador e a barra A. Este resistor deve ter uma resistência de 3,3 m ohm. Desta forma para uma falta na barra A, a corrente não vai apresentar “zeros retardados” devido ao amortecimento causado pela inclusão do resistor. A corrente de falta total na barra será limitada abaixo de 40 kA pelo Limitador. A proteção pode operar de forma convencional.

O custo do resistor é inferior ao do reator, mas este também apresenta desvantagens como dificuldades de instalação, queda de tensão e perdas permanentes.

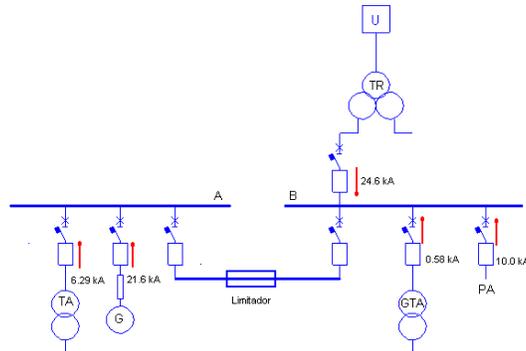


Fig 6 – Diagrama simplificado - Alternativa 4

Uma simulação foi realizada para verificar o comportamento da corrente de curto-circuito considerando a inclusão da resistência adicional externa de 3 m ohm. O Início da falta foi simulado no instante de tensão máxima e tempo de arco menor que 10 ms.

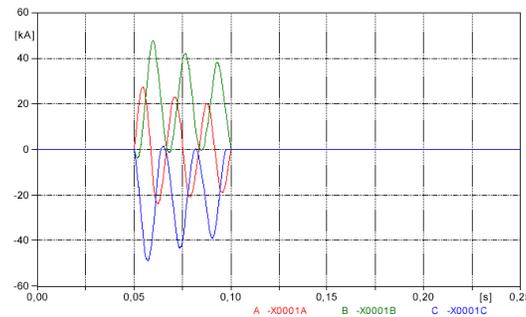


fig 3: Forma de onda da corrente de falta com 3 m ohm adicionais de resistência externa.

Nota-se que a introdução desta resistência no circuito é suficiente para produzir o decrescimento rápido da componente DC da corrente de curto circuito e produzir o efeito desejado de passagem da corrente por zero. É necessário mencionar que durante o processo de interrupção no disjuntor o arco elétrico na câmara de interrupção também apresenta uma resistência da ordem de 3 m ohm (tensão de arco de 150 m V) cujo efeito é somado ao efeito da resistência externa, contribuindo para o amortecimento da corrente de falta.

## 7 - CONCLUSÕES

Entre as possíveis soluções apresentadas, a que apresentou a melhor relação custo / benefício foi a solução N.1 aplicando um retardo intencional na proteção de sobre-corrente e utilizando um esquema de proteção lógica. Desta forma, a proteção deve atuar em um tempo superior ao tempo necessário para que a componente contínua da corrente de curto circuito seja amortecida suficientemente de forma a apresentar passagens por zero. Por outro lado a proteção lógica permite que o tempo das proteções de retaguarda não sejam aumentados.

O gerador e outros componentes do circuito devem suportar os efeitos da corrente de curto-circuito durante este tempo.

É importante salientar também que embora não tratado neste artigo, o aumento da constante de tempo do circuito em função da relação X/R do sistema tem influência também sobre a especificação de outros equipamentos tais como os transformadores de corrente de proteção.

## **8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] IEC 62281 –100 – High Voltage Circuit Breaker

[2] ANSI C37 013 – IEEE standard for AC High Voltage generator Circuit Breaker

[3] B. Kuliche. Application of vacuum C.B. to clear faults with delayed current zeros. IEEE transactions on power delivery, vol 3, N4-oct. 1988

[4] Interruption sudden asymmetrical short-circuit currents without zero transition- BBR 10-69 publication