



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Aplicação de Seccionadoras em Combinação com Fusíveis em Circuitos Alimentadores de Média Tensão

**Glauco Nogueira Vasconcelos**

**ABB Ltda. - Brasil**

glauco.vasconcelos@br.abb.com

**Lucílius Carlos Pinto**

**ABB Ltda. - Brasil**

lucilius.pinto@br.abb.com

**Marcin Czub**

**ABB Sp. z o. o. - Polônia**

marcin.czub@pl.abb.com

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Combinação seccionadora-fusível, Coordenação, Corrente de transferência, Falta à terra

#### **RESUMO**

Este trabalho apresenta a aplicação de seccionadoras de média tensão trabalhando em combinação com fusíveis. Conceitos básicos de especificação e requisitos normalizados para chaves e fusíveis bem como a coordenação entre ambos é discutida. Possíveis soluções são mostradas no caso em que o fusível é maior que o máximo recomendado para a combinação chave-fusível ou em caso de baixa corrente de falta para terra.

#### **1. INTRODUÇÃO**

Chaves de média tensão são utilizadas em sistemas de distribuição para proteção de alimentadores quando trabalhando em combinação com fusíveis.

Normalmente a escolha da chave é baseada na corrente nominal, tensão nominal e na corrente de curto-circuito da rede. Um importante aspecto, que não é normalmente considerado, é a coordenação entre chave e fusível. É necessário relembrar resumidamente alguns conceitos a respeito destes equipamentos de acordo com as normas aplicáveis, para que, então, através de alguns casos típicos, seja analisada a aplicação da combinação chave-fusível sob o aspecto da corrente de transferência, principalmente em sistemas aterrados por resistência, podendo ser necessária a utilização de uma proteção sensível de falta à terra.

## 2. SECCIONADORA

Seccionadora é um equipamento de manobra capaz de conduzir e interromper a corrente nominal e suportar a corrente de curto-circuito, bem como realizar o fechamento sob condição de falta. Normalmente este equipamento é provido de mecanismo a mola para acionamento rápido e de forma independente da velocidade de atuação do operador. Em termos de corrente, é importante mencionar algumas definições segundo as referências (1) e (3):

*Corrente nominal ( $I_r$ ):*

Valor de corrente que a seccionadora deve ser capaz de conduzir continuamente sob determinadas condições de uso e comportamento, sem exceder os limites de temperatura especificados.

*Capacidade de interrupção de corrente ativa ( $I_1$ ):*

Valor da corrente de interrupção para carga ativa (fator de potência 0,75).

Durante o teste de tipo TD1, são realizadas de 10 a 100 operações com esta corrente dependendo da classificação da chave E1, E2 ou E3.

*Corrente de transferência ( $I_{transfer}$ ):*

Valor da corrente trifásica simétrica na qual a seccionadora e o fusível associados interagem durante a interrupção. Acima deste valor, a corrente trifásica é interrompida somente pelo fusível. Abaixo deste valor, o fusível interrompe a corrente na fase em que ocorre a primeira passagem da corrente por zero (primeiro pólo). A corrente nas outras fases é interrompida pela chave ou pelo fusível, dependendo da tolerância da curva tempo x corrente do fusível e do tempo de operação da chave após o disparo pelo pino percussor do fusível associado. O fabricante de um determinado tipo de chave deve definir a lista de referência dos fusíveis adequados para a associação.

## 3. FUSÍVEL LIMITADOR DE CORRENTE TIPO RETAGUARDA

Fusível limitador de corrente “classe retaguarda” (2) é um equipamento de proteção capaz de interromper, sob determinadas condições de uso e comportamento, todas as correntes entre a máxima corrente de interrupção ( $I_1$ ) e a mínima corrente de interrupção ( $I_3$ ). Abaixo da mínima corrente de interrupção ( $I_3$ ), a operação do fusível retaguarda não é garantida pois depende do seu projeto e construção específicos.

Fusíveis “classe retaguarda” são aplicáveis para combinação chave-fusível. Após a operação de um fusível de uma fase, todos os três fusíveis devem ser substituídos como mencionado na norma IEC (3).

*Corrente máxima nominal de interrupção ( $I_1$ ):*

Máximo valor da corrente presumida de falta que o fusível é capaz de interromper em uma certa tensão e sob determinadas condições de uso e comportamento.

*Corrente mínima nominal de interrupção ( $I_3$ ):*

Mínimo valor da corrente presumida de falta que o fusível é capaz de interromper em uma certa tensão e sob determinadas condições de uso e comportamento.

*Tempo de fusão ( $T_{fusão}$ ):*

Intervalo de tempo entre o início da interrupção de uma corrente, cujo valor é alto o suficiente para causar o rompimento do elemento fusível, e o instante quando o arco é iniciado.

#### 4. COMBINAÇÃO ENTRE SECCIONADORA E FUSÍVEL

Um importante requisito, que muitas vezes é ignorado, é a capacidade da chave quando aplicada em conjunto com fusíveis. Esta aplicação é coberta pela norma IEC (3). O fabricante deve indicar o fusível máximo que poderia ser aplicado em combinação com a chave e a máxima corrente de transferência ( $I_{transfer}$ ) da chave nesta condição de operação.

Normalmente durante uma falta, a operação do fusível causa o disparo da chave pelo pino percussor que atua sobre o mecanismo da chave e causa sua abertura trifásica. Neste caso, os pólos da chave em associação com os fusíveis podem ser submetidos juntos ao esforço da interrupção. A combinação da chave com o fusível permite estender a capacidade de interrupção da mesma. No referente ensaio de tipo, denominado TD  $I_{transfer}$ , três operações de interrupção da corrente nominal de transferência são realizados, substituindo-se os fusíveis em duas fases por um condutor sólido.

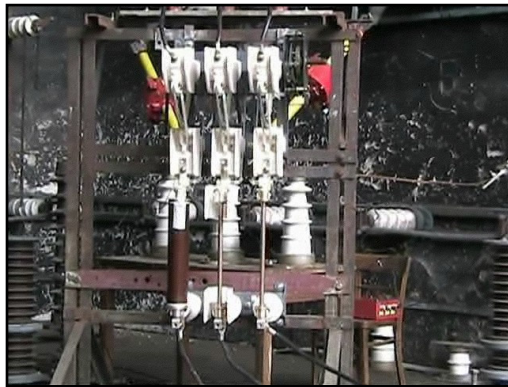


Figura 1. Arranjo do teste para combinação seccionadora-fusível.

Para correntes de falta abaixo de  $I_{transfer}$ , a chave opera em combinação com os fusíveis (operação provocada pelo percussor do fusível). A corrente de falta no primeiro pólo (fase na qual ocorre o primeiro zero de corrente) é interrompida pelo respectivo fusível. Nas outras fases subsequentes, a corrente é interrompida pela chave ou pelo fusível trabalhando em combinação. O tempo de interrupção do fusível neste caso é coordenado com o tempo de abertura da chave. É recomendado utilizar somente chaves e fusíveis cuja combinação tenha sido testada de acordo com a norma IEC (3) e incluída na lista de referência do fabricante.

#### 5. CASOS DE APLICAÇÃO

##### 5.1. Caso 1 - Descrição

*Dados da instalação:*

Tensão nominal: 13.8 kV

Corrente de curto circuito trifásica: 25 kA

Potência do transformador: 2000 KVA

Impedância: 4.0 %

Corrente nominal + 20 %: 100,4 A

Corrente de magnetização + 20 %: 1205 A – 0,1 s

Corrente de curto circuito no lado de baixa tensão referido ao lado de alta tensão ( $I_{SCLV}$ ): 2092 A – 10s

*Dados da chave:*

Corrente nominal ( $I_r$ ): 630 A

Corrente de interrupção de carga ativa ( $I_1$ ): 630 A

Corrente suportável de curta duração: 31,5kA – 1 s.

Corrente de transferência ( $I_{transfer}$ ): 1600 A

Tempo de abertura: 60 ms

*Dados do fusível:*

Corrente nominal: 125 A

Máxima corrente de interrupção ( $I_1$ ): 25kA

Mínima corrente de interrupção ( $I_3$ ): 375A

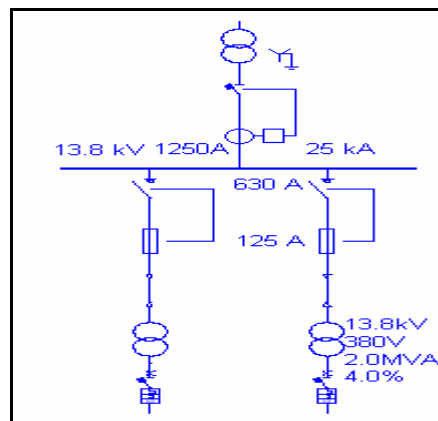


Figura 2. Diagrama unifilar simplificado da instalação, caso 1

A escolha do fusível, além de levar em conta a corrente nominal da carga, deve considerar também os requisitos adicionais relacionados com a coordenação da proteção. A curva de tempo de pré-arco x corrente do fusível deve estar acima do ponto de referência da corrente de magnetização do transformador e abaixo do ponto referente a suportabilidade a curto circuito do transformador e cabo de conexão. Além disto, a curva de tempo de pré-arco x corrente deve estar coordenada com as curvas da proteção de sobrecorrente a jusante e a montante do transformador. No caso 1, para uma falta secundária, a corrente de curto-circuito referida ao lado de alta tensão do transformador ( $I_{SCLV}$ ) é 2092 A. Neste caso, como  $I_{SCLV}$  é maior que  $I_{transfer}$  da chave, a combinação entre chave e fusível deve ser verificada. No gráfico da figura 3 uma linha horizontal representa 90% do tempo de abertura da chave (54 ms). Uma linha vertical indica  $I_{transfer}$  da chave (1600 A). O ponto de cruzamento destas duas linhas representa o ponto de transferência da combinação chave-fusível. Até 1600A (valor de corrente correspondente a 54 ms na curva tempo de pré-arco x corrente do fusível de 125 A), a chave opera mais rápido que o fusível depois de atuado pelo percussor do fusível associado (primeiro pólo a atuar).

Para correntes maiores que 1600 A, o fusível atua mais rápido que a chave e a combinação seccionadora-fusível opera apropriadamente. Um gráfico da operação da proteção é mostrado na figura 3.

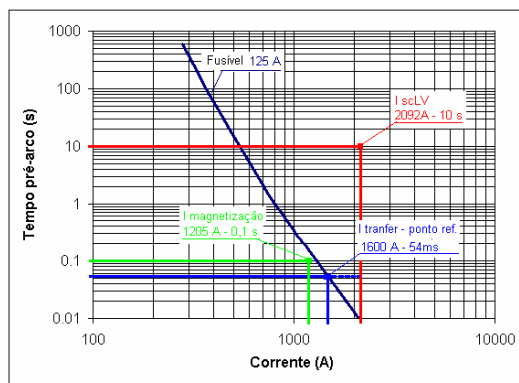


Figura 3. Gráfico da operação da proteção, caso 1

## 5.2. Caso 2 - Descrição

### Dados da instalação:

Tensão nominal: 13,8 kV

Corrente de curto-circuito trifásica: 25 kA

Corrente de curto-circuito fase-terra: 400 A

Potência do transformador: 2500 KVA

Impedância: 4%

Corrente nominal + 20 %: 125,5 A

Corrente de magnetização + 20 %: 1506 A – 0,1 s

Corrente de curto-circuito no lado de baixa tensão referida ao lado de alta tensão ( $I_{SCLV}$ ): 2615 A – 10s

### Dados da chave:

Corrente nominal ( $I_r$ ): 630 A

Corrente de interrupção de carga ativa ( $I_1$ ): 630 A

Corrente suportável de curta duração ( $I_k$ ): 31,5 kA – 1 s.

Corrente de transferência ( $I_{transfer}$ ): 1600 A

Tempo de abertura: 60 ms

### Dados do fusível:

Corrente nominal: 160 A

Máxima corrente de interrupção ( $I_1$ ): 50kA

Mínima corrente de interrupção ( $I_3$ ): 480 A

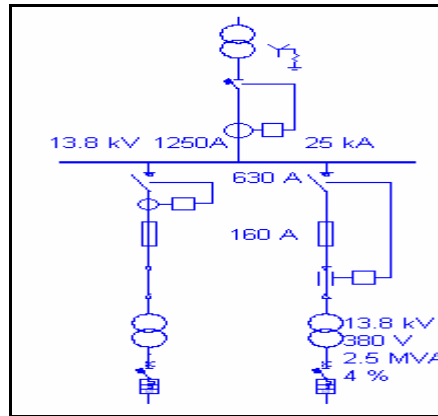


Figura 4. Diagrama unifilar simplificado da instalação, caso 2.

Neste caso de aplicação, o fusível recomendado que atende as condições de coordenação mencionadas é o de 160 A ( $I_1$ : 50 kA –  $I_3$ : 480 A). A corrente de curto-circuito referida ao lado de alta tensão  $I_{scLV}$  (2615 A) é mais alta que  $I_{transfer}$  da chave, como ilustrado na figura 5. Neste caso, a combinação entre chave e fusível deve ser verificada. No gráfico da figura 5, a linha horizontal representa 90 % do tempo de abertura da chave (54 ms). A linha vertical indica  $I_{transfer}$  da chave (1600 A). O ponto de cruzamento destas duas linhas representa o ponto de referência para a combinação seccionadora-fusível. É possível verificar na figura 5 que até 1900 A (valor da corrente correspondente a 54 ms na curva tempo de pré-arco x corrente do fusível de 160 A), a chave opera mais rápido que o fusível depois de atuado pelo pino percussor do fusível associado e isto excede  $I_{transfer}$  da chave. O gráfico da operação da proteção é mostrado na figura 5.

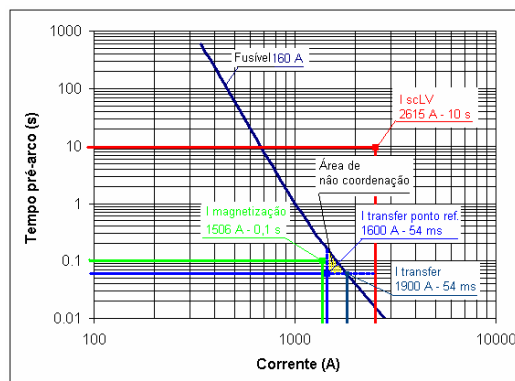


Figura 5. Gráfico da operação da proteção, caso 2.

Uma solução sugerida para proteção da zona não coberta pela combinação entre o ponto de referência da chave (1600 A – 54 ms) e o efetivo ponto de transferência na curva do fusível (1900 A – 54 ms) é utilizar uma chave provida de bobina de abertura e não atuada diretamente pelo percussor do fusível. O fusível deverá ser provido de contatos de sinalização de operação que deveriam atuar de forma retardada sobre a bobina de abertura da chave.

Outra solução é utilizar transformadores de corrente e relé de sobrecorrente que deve atuar de forma retardada sobre a bobina de abertura da chave. Utilizando esta solução, a chave não será submetida a esforço superior ao seu valor de  $I_{transfer}$  durante a interrupção da corrente de curto-circuito.

Outro aspecto a ser considerado na aplicação é a mínima corrente de curto-circuito do fusível de 160A ( $I_3$ : 480A). No caso de uma falta para terra, a corrente de curto-circuito é limitada a 400 A, que é inferior ao valor de  $I_3$  do fusível. Neste caso, o fusível de 160 A poderia operar ou não, dependendo do seu projeto e construção específicos. Uma possível solução é prover o sistema com uma proteção de falta à terra de alta sensibilidade (TC janela nos cabos e relé de sobrecorrente 50 GS). No caso de uma falta para terra, esta proteção deve operar de forma instantânea sobre a bobina de abertura da chave.

## 6. CONCLUSÕES

A coordenação entre chave e fusível deve ser cuidadosamente analisada e a recomendação do fabricante com respeito a  $I_{transfer}$  deve ser respeitada, assim como, somente combinações testadas (3) de chave - fusível devem ser aplicadas. O disparo da chave pelo percussor do fusível associado deve ser estudado considerando a limitação do  $I_{transfer}$  da seccionadora.

Sistemas aterrados por resistência, com baixos valores de falta à terra, devem ser analisados levando-se em consideração a mínima corrente de interrupção do fusível. Dependendo dos seus projeto e construção específicos, os fusíveis “classe retaguarda” podem não operar adequadamente. O tempo de fusão do elemento fusível, dessa forma, poderá tornar-se longo o suficiente para causar danos ao fusível e à instalação, como ilustrado na figura 6.

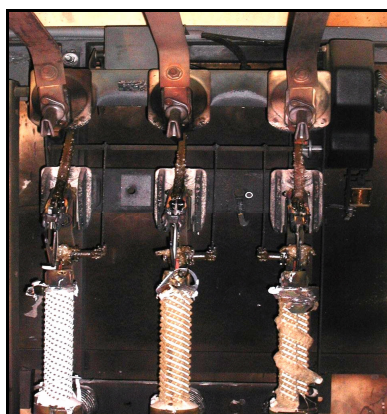


Figura 6. Danos em chave causada por arco nos fusíveis.

Neste caso, uma proteção sensível de falta a terra deve ser considerada, de forma a operar sobre a bobina de abertura da chave ou sobre o relé para abertura do disjuntor de retaguarda.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) High voltage switches – Part 1: Switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV, IEC 60265-1:1998.
- (2) High voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses, IEC 60282-1:2005.
- (3) High voltage switchgear and controlgear – Part 105: Alternating current switch-fuse combinations, IEC 62271-105:2002.