



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GSC - 05  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO X  
GRUPO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DO ISOLAMENTO - GSC**

**ANÁLISE DE SUPERAÇÃO DE DISJUNTORES QUANTO A CURTO CIRCUITO E TENSÃO DE  
RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA NO PLANEJAMENTO CHESF**

**Methodio Varejão de Godoy \***  
CHESF/UPE

**Fernando Rodrigues Alves**  
CHESF

**RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia adotada pelo planejamento da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) no sentido de analisar a superação de disjuntores por esforços térmicos e dinâmicos devido a corrente de curto circuito e pela magnitude ( $U_c$ ) e taxa de crescimento da tensão de restabelecimento transitório (TCTRT). Este trabalho visa ainda destacar as principais medidas prescritas para retardar ou mesmo evitar novos investimentos gerados quando da identificação da superação desses disjuntores.

A avaliação da superação de disjuntores é efetuada por corrente nominal, curto circuito e tensão de restabelecimento transitório ( $U_c$  e TCTRT) após a realização de estudos preliminares de fluxo de potência e de curto-circuito em diferentes horizontes em carga máxima. Os disjuntores a serem objeto de análise detalhada com a nova metodologia são aqueles identificados após a aplicação do critério superação de disjuntores por corrente simétrica pela aplicação da norma IEEE STD C37. 010-1999 (correção para tensão máxima operativa e fator X/R) na sua última revisão, no limite de: 70% de sua capacidade simétrica de interrupção nominal com níveis de curto circuito com X/R maior que 17 e 80% de sua capacidade simétrica de interrupção nominal com níveis de curto circuito com X/R menor que 17.

Para os disjuntores relacionados no estudo preliminar, são realizados estudos detalhados usando a nova metodologia CHESF, sempre observando as especificações técnicas de aquisição do disjuntor e as normas técnicas vigente no período de aquisição. Os estudos para avaliação da superação quanto à TRT são realizados usando o programa de transitórios eletromagnéticos Alternative Transient Program, ATP em duas fases iniciais. Numa fase inicial o sistema elétrico é modelado de forma simplificada e "pessimista". Caso o estudo preliminar indicar superação, novos estudos são realizados. Nesses novos estudos são modelados detalhadamente componentes, cabos e barramentos além da condição de carga.

Entre as diversas conclusões do trabalho realizado podemos destacar a redução do número de disjuntores superados em relação à metodologia anterior (26%), a otimização do tempo gasto com as simulações usando o ATP, principalmente motivados pela simplificação ou redução de representação de parâmetros de pouca influência nos resultados.

**PALAVRAS-CHAVE**

Tensão de Restabelecimento de Disjuntores, Sobretensões, Superação de Disjuntores e Curto Circuito.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

O problema de superação das características elétricas nominais de disjuntores tem merecido nos últimos anos bastante atenção de todos os agentes do setor elétrico brasileiro, tendo em vista:

- A entrada em operação de novas térmicas próximas aos grandes centros de carga, que vem provocando uma elevação significativa dos níveis de curto circuito das barras vizinhas à conexão,
- A implantação de novas interligações no sistema elétrico brasileiro que tem também contribuído para um incremento dos níveis de curto circuito nos subsistemas interconectados.
- O crescimento vegetativo e a evolução natural dos transformadores de potência e das linhas de transmissão vêm fazendo com que a relação X/R das barras do sistema elétrico venha sendo significativamente incrementadas.
- As dificuldades em relação à construção de novas linhas de transmissão, apontando como solução mais viável a recapacitação das linhas de transmissão já em operação, o que provocado uma significativa elevação da relação X/R das barras do sistema elétrico.
- O incremento da compensação reativa série no sistema elétrico interligado.

Os fatos anteriormente descritos, acrescidos da publicação da norma IEC 62271-100 em maio de 2001 e da revisão da norma IEEE STD C37. 010 em 1999 motivaram o planejamento da CHESF a rever a metodologia e os critérios para identificar a superação de disjuntores. As mudanças no tocante a como considerar a capacidade de interrupção assimétrica do disjuntor em situações de elevada relação X/R destacadas em ambas as normas foram incorporadas na revisão da metodologia de análise de superação de disjuntores.

A avaliação da superação de disjuntores é efetuada por corrente nominal, curto circuito e tensão de restabelecimento transitório (Uc e TCTRT) após a realização de estudos preliminares de fluxo de potência e de curto-circuito em diferentes horizontes em carga.

Em todas as análises da superação das características elétricas nominais de disjuntores, uma questão sempre emerge: Um disjuntor com um determinado número de anos de operação submetido a um adequado programa de manutenção mantém suas características nominais? A resposta a esta questão é hoje objeto de vários estudos e de pesquisas por partes de universidades, fabricantes e concessionárias do setor elétrico. Infelizmente não se tem conhecimento de resultados conclusivos sobre o assunto.

Diante desse fato e de que é conhecido que a avaliação do grau de envelhecimento das características elétricas nominais dos disjuntores depende de um conjunto de fatores tais como: nível de manutenção, histórico de falhas e defeitos registrados no equipamento e do nível de stress submetido ao disjuntor pelas manobras requeridas pelo sistema bem como de um conjunto de aspectos construtivos e tecnológicos a seguinte premissa é assumida: "Se um determinado disjuntor vem sendo submetido a programa de manutenção adequado, suas características elétricas se mantêm ao longo de sua vida útil".

## 2.0 - ANÁLISE PRELIMINAR

Como foi descrito anteriormente, a caracterização da superação das características elétricas nominais dos disjuntores é realizada em duas etapas: uma análise preliminar e uma análise detalhada. Na análise preliminar são apenas relacionados os disjuntores que deverão ser objeto, numa segunda etapa, de uma análise detalhada.

A análise preliminar, até por que deve envolver todos os disjuntores do sistema elétrico, deve ser simplificada e pessimista. A simplificação consiste em utilizar ferramentas, modelagem e critérios objetivos que permitam a aplicação imediata. Quanto a necessidade de a análise ser pessimista, está relacionada a necessidade de se evitar que possa vir a acontecer a superação de um dado disjuntor sem que este tenha sido objeto de uma análise detalhada.

Na análise preliminar são realizados estudos preliminares de fluxo de potência e curto circuito. Os estudos de fluxo de carga são realizados na configuração de carga máxima em condição normal e de contingência "n-1". A avaliação da necessidade ou não de estudo detalhado de superação por corrente nominal deve acontecer quando for atingido o limite de 90% (noventa por cento) da corrente nominal do disjuntor.

Na etapa preliminar, os estudos de curto circuito são realizados de forma simplificada e pessimista, considerando as seguintes premissas:

- a) O sistema elétrico na condição pré-falta opera nas tensões máximas operativas em cada barra,
- b) Todas as unidades geradoras são consideradas em operação ao mesmo tempo,
- c) A carga da condição pré-falta é desprezada,

- d) O sistema elétrico é considerado na condição normal, com todas as suas linhas de transmissão e transformadores de potência em operação.
- e) Não necessariamente precisam estar modelados todas as resistências envolvidas de linhas de transmissão e transformadores de potência, bem como os elementos shunts de linha de transmissão e as impedâncias mútuas de seqüência zero de linhas de transmissão.
- f) As correntes de curto circuito a serem utilizadas para a identificação da superação ou não do disjuntor, são as correntes de curto circuito na barra (e respectivas relações X/R) onde o disjuntor está instalado.

É importante ressaltar que ao assumir as premissas anteriormente descritas, fica definido que o estudo de curto circuito será realizado com todas as unidades geradoras operando simultaneamente, independentemente da possibilidade de despachá-las ou não, todas ao mesmo tempo. Essa condição é pessimista e é usualmente assumida quando da especificação das características elétricas de disjuntores em horizontes relacionados à respectiva vida útil.

Os disjuntores a serem objeto da análise detalhada para avaliação da superação ou não com a nova metodologia são aqueles identificados após a aplicação do critério superação de disjuntores por corrente simétrica pela aplicação da norma IEEE STD C37. 010-1999 (correção para tensão máxima operativa e fator X/R) na sua última revisão, no limite de: 70% de sua capacidade simétrica de interrupção nominal com níveis de curto circuito com X/R maior que 17 e 80% de sua capacidade simétrica de interrupção nominal com níveis de curto circuito com X/R menor que 17.

A adoção desses percentuais foi resultado de uma análise de sensibilidade no sentido de evitar que em pontos do sistema elétrico com elevada relação X/R, possa surgir algum caso de disjuntor que possa vir a ser superado pela corrente assimétrica de curto circuito sem que tivesse sido relacionado na análise preliminar para uma avaliação detalhada.

### 3.0 - ANÁLISE DETALHADA

Na análise detalhada o objetivo é comprovar ou não a real superação do disjuntor. Caso confirmada a superação, deve-se avaliar o horizonte da necessidade de troca do disjuntor, tendo em vista os investimentos requeridos e em alguns casos, as dificuldades de aquisição e até mesmo de fabricação no prazo necessário. Nas situações de exigüidade de prazo ou de dificuldades provocadas pelo elevado investimento requerido, a análise detalhada deve incluir possíveis soluções de mitigação transitórias a serem aplicadas no sistema elétrico, tais como restrições operacionais, a instalação de dispositivos limitadores de curto-circuito e até, implantar medidas operacionais como a separação de barramentos e a implantação de chaveamentos seqüenciais.

Na análise detalhada para a caracterização da superação por corrente de carga, os estudos de fluxo máximo de potência deverão ser efetuados nas condições mais severas durante emergências, para configurações futuras e incluir uma avaliação dos fluxos em barramentos de subestações nos arranjos onde existe mais de 1 disjuntor por circuito. Nesses estudos a modelagem do sistema elétrico deve buscar reproduzir o sistema elétrico existente o mais fielmente possível tanto na condição normal como na de contingência "n -1".

Na análise detalhada da superação de um dado disjuntor por corrente de curto circuito (simétrica e assimétrica), os estudos de curto circuito devem ser efetuados considerando as seguintes premissas:

- a) A capacidade de interrupção simétrica e assimétrica do disjuntor é confrontada com a máxima corrente de curto circuito que deve conduzida e interrompida pelo disjuntor, denominada corrente passante.
- b) A geração é modelada admitindo a condição de carga máxima, com a maior quantidade de unidades geradoras despachadas.
- c) A condição pré-falta é obtida a partir de um estudo de fluxo de carga em carga máxima no perfil de tensões máximas operativas em cada barra,
- d) O sistema elétrico é considerado na condição normal, com todas as suas linhas de transmissão e transformadores de potência em operação.
- e) Todas as resistências envolvidas de linhas de transmissão e transformadores de potência devem estar representadas nos estudos para o cálculo da corrente de curto circuito.
- f) Os elementos shunts de linha de transmissão e as impedâncias mútuas de seqüência zero de linhas de transmissão devem também estar representados.

Após o cálculo da corrente de curto passante no ponto onde está localizado o disjuntor em análise, esse valor é corrigido para a tensão máxima operativa e multiplicada pelo fator de assimetria da revisão da norma IEEE STD C37. 010 em 1999 motivaram

Os estudos para avaliação da superação quanto à TRT são realizados usando o programa de transitórios eletromagnéticos Alternative Transient Program, ATP para todos os disjuntores que apresentem níveis de curto-circuito superiores a 80% do valor nominal do equipamento. Na avaliação da superação por TRT são

considerados os valores e envoltórias propostos pela ABNT e IEC, considerando os diversos níveis de corrente pré-defeito estabelecidos na norma IEC 62271-100 de maio de 2001.

#### 4.0 - SUPERAÇÃO DE DISJUNTORES POR TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIO

Na ocorrência de uma falta num sistema de potência, os disjuntores mais próximos devem isolar o trecho defeituoso com rapidez, minimizando os efeitos da falta sobre o resto do sistema. Com o início da separação mecânica dos contatos do disjuntor, como a corrente não pode variar instantaneamente por causa da conservação do fluxo magnético, se estabelece um arco entre os contatos.

Cada tipo de disjuntor possui seu próprio processo de extinção de arco, sempre buscando um rápido aumento de suportabilidade dielétrica entre os contatos, de forma a evitar sua reignição. Para garantir a interrupção do arco, de forma a evitar danos para o sistema elétrico, as suportabilidades térmica e dielétrica do disjuntor devem ser sempre superiores à tensão medida entre os contatos do disjuntor e a terra denominada tensão de restabelecimento transitória (TRT).

Desta forma a capacidade de interrupção de um disjuntor deve ser determinada pela magnitude da corrente de falta e pela TRT através de seus contatos. A TRT tenderá a restabelecer o arco, seja por reignição térmica, ou por ruptura do dielétrico.

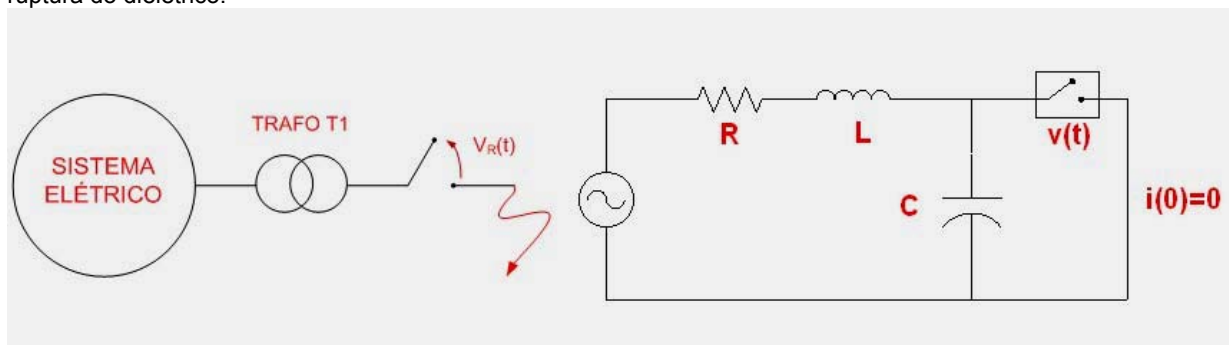


FIGURA 1 – Caso clássico de cálculo da tensão de restabelecimento transitório

A equação clássica para a determinação da TRT, obtida a partir do sistema elétrico apresentado na **FIGURA 1** e seu circuito equivalente monofásico, é a seguinte:

$$\frac{d^2 V_c}{dt^2} + \frac{R}{C} \cdot \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_c}{L \cdot C} = \frac{V_m}{L \cdot C}$$

Cuja solução indica que a TRT será calculada pela expressão:

$$V_c(t) \cong V_m \cdot \left[ \cos(\omega \cdot t) - e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) \right]$$

A magnitude do pico da onda inicial da TRT é dada pela combinação de duas componentes, sendo uma delas transitória, de alta frequência  $\omega_0$ , que resulta da composição dos modos de oscilação da rede (frequência natural) e a outra, de baixa frequência  $\omega$ , que só depende das fontes e da topologia da rede (frequência industrial). A componente de frequência natural decai exponencialmente devido às resistências do circuito, enquanto que, a componente de frequência industrial oscila à frequência das fontes de tensão do sistema. A representação clássica descrita tratando o problema com uma representação monofásica é bastante aproximada.

O cálculo exato da TRT requer uma modelagem mais detalhada, uma representação trifásica, que por se tratar de um fenômeno transitório exige a resolução de equações diferenciais através de processos de integração numérica. O valor da TRT calculado para uma situação particular de falta e de seqüência de abertura dos pólos do disjuntor, depende de quais elementos da rede elétrica são considerados nos cálculos, do modelo adotado para a representação desses elementos e do método de cálculo empregado.

A TRT é particularmente elevada após a abertura de faltas terminais (que são faltas ocorridas nos terminais dos disjuntores das conexões dos transformadores para curtos nos barramentos, e nos terminais dos disjuntores ou religadores dos alimentadores) e de faltas quilométricas (que são faltas ocorridas nas linhas de transmissão, a

poucos quilômetros do disjuntor). Usualmente, a falta terminal é mais severa para o valor de pico da TRT, enquanto que a falta quilométrica é mais severa para o valor da taxa de crescimento da TRT.

Durante os primeiros microssegundos após a interrupção de uma corrente, a TRT será determinada essencialmente pelos parâmetros dos elementos situados a uma distância muito pequena do disjuntor, fazendo com que o arranjo da subestação assuma uma importância fundamental na sua determinação. Pode-se citar que de uma forma geral um aumento da indutância do sistema contribui para elevar o valor de pico da TRT, enquanto que um acréscimo na capacitância provoca uma diminuição na TCTRT.

Os principais fatores indicativos de uma condição de operação menos favorável do ponto de vista das tensões de restabelecimento transitórias, são os seguintes:

- a) Potência de curto-circuito elevada no ponto da falta,
- b) Inexistência de outras linhas na barra, além daquela em que ocorre a falta. O efeito de linhas adicionais conectadas a barra onde o disjuntor está sendo manobrado atenua a TCTRT, pois estas linhas diminuem as componentes de onda refletidas que se somam com a TRT inicial, tendo em vista o efeito resistivo da impedância de surto.
- c) Falta nos terminais do disjuntor sem a presença da linha associada ao mesmo. O efeito da linha em falta na onda incidente da TRT é provocar uma redução na sua taxa de crescimento. Sendo assim, a desconsideração desse efeito nos estudos leva-nos à obtenção de um resultado conservativo, uma vez que não são considerados os efeitos resistivos inerentes à linha de transmissão.
- d) Inexistência de bancos de capacitores na barra onde está o disjuntor. Toda capacitância natural  $C$ , que sempre deve ser considerada nos estudos provoca uma atenuação na TCTRT.

Considerando os fatos anteriormente descritos, os estudos para avaliação da superação quanto à TRT de um dado disjuntor recaem no uso do programa de transitórios eletromagnéticos Alternative Transient Program (ATP). A utilização do ATP com uma representação trifásica detalhada do sistema elétrico para todos os disjuntores que apresentem níveis de curto-circuito superiores a 80% do valor nominal do equipamento, implicaria numa grande demanda de estudos, exigindo um significativo volume de dados e de mão de obra para a sua execução. No caso do sistema CHESF, esse fato implicaria numa centena de disjuntores a serem analisados detalhadamente, no mínimo uma vez por ano.

Objetivando reduzir esse “esforço” requerido, partiu-se para o desenvolvimento de uma metodologia simplificada com as seguintes premissas:

- A análise deve ser “pessimista”, de tal forma que nenhum disjuntor considerado não superado pela metodologia simplificada, pode apresentar superação num estudo detalhado.
- A análise deve ser feita com uma pequena quantidade de informações e de uma forma padronizada no sentido possibilitar avaliar um grande número de disjuntores de forma rápida e imune a problemas.

A primeira alternativa de metodologia simplificada testada foi o método expedito descrito na norma IEEE Standard C37.011 – 1994 - IEEE APPLICATION GUIDE FOR TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE FOR AC HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS RATED ON A SYMMETRICAL CURRENT BASIS. A avaliação dessa metodologia simplificada foi realizada confrontando os resultados obtidos com os resultados das simulações detalhadas. Essa confrontação possibilitou concluir que em 4,6% dos casos simulados, disjuntores indicados como não superados na metodologia simplificada, apresentavam superação na taxa de crescimento da tensão de restabelecimento transitório (TCTR).

## 5.0 - AVALIAÇÃO DA SUPERAÇÃO DE DISJUNTORES POR TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIO – METODOLOGIA SIMPLIFICADA

A metodologia simplificada utilizada pela CHESF para avaliar a superação de disjuntores por TRT consiste na realização de simulação digital com o programa de cálculo de transitórios eletromagnéticos ATP/EMTP usando quatro configurações padronizadas para representar o sistema elétrico, numa condição “pessimista” para estudos de TRT.

As simulações usando o ATP para determinar a superação ou não por TRT devem ser feitas segundo as seguintes recomendações:

- a) A simulação deve ser feita com a interrupção da corrente passante pelo disjuntor.
- b) A modelagem para a rede deve adotar a representação trifásica do sistema elétrico analisado.
- c) O passo de integração deve ser igual a um décimo do menor tempo de propagação das linhas próximas ao disjuntor sob estudo.
- d) O tempo total de simulação deve ser de 10 ms.
- e) São realizadas simulações para falta terminal para curto trifásico não aterrado e para faltas quilométricas para curto monofásico com avaliação da abertura do terceiro pólo do disjuntor.

- f) O sistema elétrico a ser ligado na barra onde está o disjuntor objeto da análise é representado pelo seu equivalente de Thevenin ajustado para a corrente passante pelo disjuntor.
- g) Só o ramo onde está localizado o disjuntor é modelado pelo método dos parâmetros a parâmetros distribuídos.
- h) Os transformadores e reatores devem ser representados, primeiramente, pelos modelos do EMTP/ATP, sem a saturação, sem capacitâncias parasitas, sem perdas no ferro.
- i) As cargas não devem ser representadas.
- j) Devem ser representadas as capacitâncias parasitas da barra próxima ao ponto de falta.
- k) As fontes de tensão devem ser representadas pelo modelo de fonte senoidal.

No sentido de padronizar as análises de superação foram definidas quatro configurações padronizadas para a realização das simulações:

- 1) Falta terminal para disjuntor de linha (**FIGURA 2**)
- 2) Falta quilométrica para disjuntor de linha (**FIGURA 3**)
- 3) Falta terminal para disjuntor na baixa tensão de transformador (**FIGURA 4**)
- 4) Falta quilométrica para disjuntor na baixa tensão de transformador (**FIGURA 5**)

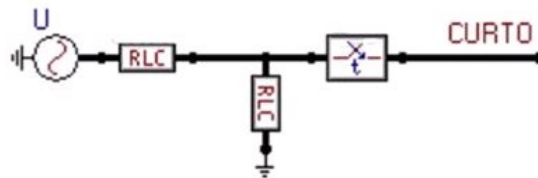


FIGURA 2 - Falta terminal para disjuntor de linha

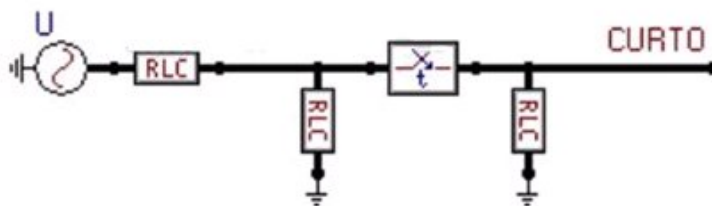


FIGURA 3 - Falta quilométrica para disjuntor de linha

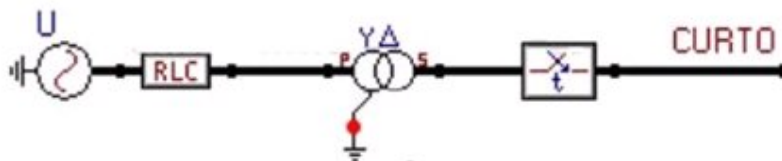


FIGURA 4 - Falta terminal para disjuntor na baixa tensão de transformador

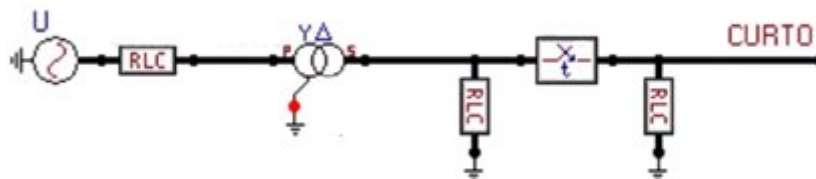


FIGURA 5 - Falta quilométrica para disjuntor na baixa tensão de transformador

Na avaliação da superação por TRT são considerados os valores e envoltórias propostos pela ABNT e IEC, considerando os diversos níveis de corrente pré-defeito estabelecidos na norma IEC 62271-100 de maio de 2001.

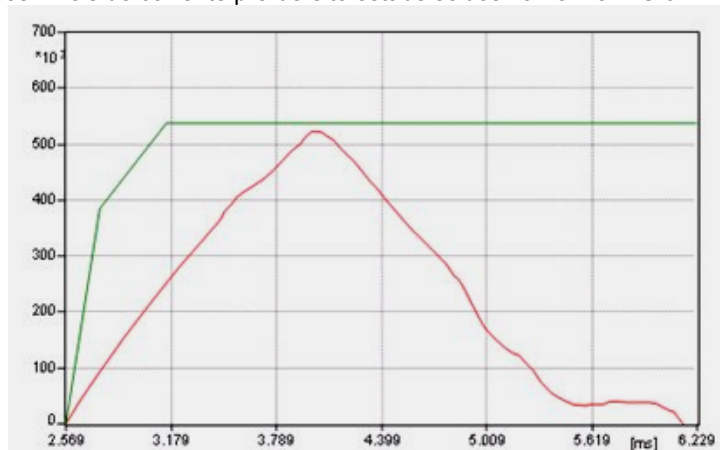


FIGURA 6 – Disjuntor não superado pela metodologia simplificada

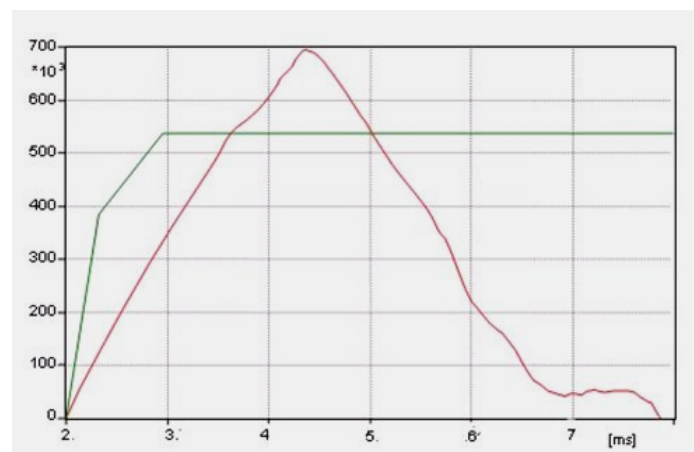


FIGURA 7 - Disjuntor superado pela metodologia simplificada

## 6.0 - AVALIAÇÃO DA SUPERAÇÃO DE DISJUNTORES POR TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIO – METODOLOGIA DETALHADA

O cálculo da TRT usando a metodologia detalhada deve ser realizado para todos os disjuntores indicados como superados nos estudos realizados usando a metodologia simplificada. A análise detalhada exige experiência do analista, tendo em vista os diversos fatores que influenciam nos resultados obtidos tais como a definição da extensão da rede a considerar, da modelagem apropriada para os elementos da rede, do método de cálculo a ser utilizado, do passo de integração e do tempo total de simulação.

Dificuldades adicionais podem surgir na escolha dos casos a serem estudados no que diz respeito aos pontos de aplicação da falta, ao tipo de falta a ser analisado e as condições dos pólos do disjuntor (abertos ou fechados) no estudo. A escolha dos casos a serem analisados, deve ser feita de forma a evitar que as solicitações mais severas sejam esquecidas.

Considerando as dificuldades descritas, as seguintes orientações devem ser observadas para o cálculo da TRT, seguindo a metodologia detalhada:

- Deve ser utilizado o programa de cálculo de transitórios eletromagnéticos ATP/EMTP.
- A simulação deve ser realizada considerando a falta já aplicada e em regime permanente, para a condição de corrente de curto máxima passante pelo disjuntor até sua abertura.
- O sistema elétrico deve ser representado de forma trifásica.
- O sistema elétrico deve ser modelado até duas transformações da posição do disjuntor, objeto da análise. As barras limites devem ser representadas pelos equivalentes de curto circuito.
- O passo de integração deve ser igual a um décimo do menor tempo de propagação das linhas próximas ao disjuntor em análise.

- f) O tempo total de simulação é de 10 ms, que é usualmente adequado para a análise da abertura dos três pólos do disjuntor.
- g) As linhas de transmissão devem ser representadas pelo modelo de parâmetros distribuídos.
- h) As cargas não devem ser representadas.
- i) As capacitâncias parasitas das barras próximas aos pontos de falta devem ser modeladas.
- j) Os transformadores e reatores devem ser representados, pelos modelos do ATP, sem representar a saturação, as capacitâncias parasitas, as perdas no ferro e sem correção de impedância de curto-circuito com a frequência.

Os resultados (curvas, valores máximos e taxas de crescimento) devem ser comparados com os garantidos pelo fabricante do disjuntor ou, na falta destes, com os estabelecidos pelas Normas técnicas de disjuntores (NBR 7118 da ABNT ou IEC 62271-100).

## 7.0 - CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas podem-se obter as seguintes conclusões:

É usual que o curto-circuito monofásico quilométrico apresente valores de TCTRT maiores que o curto-circuito trifásico não aterrado no barramento. Entretanto, neste caso, não foi constatada esta expectativa. Ressalta-se que comparando o valor de pico da TRT ( $U_c$ ), observa-se que no caso trifásico este foi superior ao caso monofásico, como era esperado.

A introdução de célula capacitiva reduziu o valor da TCTRT, como era de se esperar. No entanto, não foi afetado o valor da  $U_c$ .

Este mesmo procedimento para o caso do curto-circuito monofásico quilométrico não surtiu tanto efeito em relação à TRT, embora, tenha havido uma pequena diminuição da sua taxa de crescimento.

Como a suportabilidade a 30% da corrente máxima de interrupção é de  $U_c=27,6\text{kV}$  e a  $TCTRT= 1,92\text{kV}/\mu\text{s}$ , o valor encontrado da  $U_c$  para o curto-circuito trifásico ultrapassou a suportabilidade do equipamento ( $U_c=31,9\text{kV}$  e  $TCTRT=1,74\text{kV}/\mu\text{s}$ ). Já os valores obtidos da simulação para o curto-circuito monofásico quilométrico ( $U_c=28,6\text{kV}$ , e  $TCTRT=1,6\text{kV}/\mu\text{s}$ ) para um valor de corrente de 4500 A, correspondem a um percentual de 11,3%, estando, neste caso, dentro da suportabilidade do disjuntor.

## 8.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) IEEE STD C37. 010-1999 – IEEE APPLICATION GUIDE FOR AC HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS RATED ON A SYMMETRICAL CURRENT BASIS.
- (2) IEEE Standard C37.011 – 1994 - IEEE APPLICATION GUIDE FOR TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE FOR AC HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS RATED ON A SYMMETRICAL CURRENT BASIS.
- (3) IEC INTERNATIONAL STANDARD 62271-100 / 2001 - HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR – Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Guia de aplicação de coordenação do isolamento - NBR 8186. Brasil.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Coordenação do isolamento - Procedimento - NBR 6939. Brasil.
- (6) Metodologia e Critérios para Análise de Adequação de Disjuntores Quanto à Tensão de Restabelecimento Transitória – GTE/SCEE/CCON-848/91.
- (7) Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento – Aplicação em Sistemas de Potência de Alta Tensão - Ary D'Ajuz e outros.
- (8) Electrical Transients in Power Systems – Second Edition – Allan Greenwood.