



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

22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO - X

GRUPO DE ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

CHAVES SECCIONADORAS 13.8 KV – ANÁLISE DE DANOS NA SE BARRA DO PEIXE DEVIDO A MANOBRAS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO E MEDIÇÃO EM CAMPO

João F. Lima Filho*

Sidney C. Santana Junior**

Joaquim Neto R. Junior**

*** Potência Engenharia**

**** Eletronorte**

RESUMO

Sempre que se manobram chaves seccionadoras para estabelecer correntes de “inrush” em transformadores ou para interromper pequenas correntes indutivas de magnetização, existe grande preocupação quanto à integridade física das mesmas, em função do lento movimento de suas lâminas.

No dia 21/08/07, às 16h15min, quando da manobra na chave seccionadora 13.8 kV para energização dos TFs 1 e 2 auxiliares 13.8/0.38 kV-0.3 MVA da SE Barra do Peixe houve explosão do cubículo 13.8 kV com conseqüente danificação da referida chave.

Para auxiliar na elucidação das possíveis causas que levaram à danificação dessa chave seccionadora foi identificada necessidade de elaboração de estudos de transitórios eletromagnéticos.

Diante de fatos constatados em campo, surgiram outras dúvidas, como a identificação da alta corrente do lado de 230 kV registrada no momento da ocorrência.

Outro ponto importante foi a possível ocorrência de curto-circuito no 13.8 kV, para o qual não se conseguiu identificação da origem.

Duas hipóteses foram analisadas na tentativa de identificação da origem provável desse curto-circuito:

1ª hipótese: Arco elétrico no fechamento da chave seccionadora, quando da energização simultânea dos TFs 1 e 2 auxiliares 13.8/0.38 kV-0.3 MVA de Barra do Peixe, associado à velocidade de fechamento que pode ter evoluído para curto-circuito entre fases ou fase-terra na chave dentro do meio ambiente (cubículo) quimicamente alterado, provocando explosão.

2ª hipótese: O processo de abertura ou fechamento lento da chave seccionadora conduz à corrente de arco que provoca reignições nos contatos da chave. A abertura do circuito RLC associado e os pequenos comprimentos dos cabos 13.8 kV poderiam ter provocado reflexões sucessivas das ondas de tensão e/ou ferrossonância e, conseqüentemente, acarretado sobretensões que teriam evoluído para curto-circuito entre fases ou fase-terra na chave dentro do meio ambiente (cubículo) quimicamente alterado, provocando explosão.

O presente Trabalho Técnico tem como objetivo analisar resultados de estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra da chave seccionadora 13.8 kV, quando da energização dos TFs 1 e 2 auxiliares 13.8/0.38 kV-0.3 MVA, para identificação de possíveis causas de danos na referida chave da SE Barra do Peixe 230/138/13.8 kV, localizada no município de Ribeirãozinho, Estado do Mato Grosso e propor melhorias para a segurança operacional do sistema.

PALAVRAS-CHAVE

Chaves Seccionadoras, Simulação, Transitórios Eletromagnéticos, Medição, Curto-Circuito, Correntes Indutivas, Proteção, Análise de Ocorrência, Subestações 13.8 kV e Cabos Elétricos.

1.0 - INTRODUÇÃO

Quando da manobra na chave seccionadora 13.8 kV para energização dos TFs 1 e 2 auxiliares 13.8/0.38 kV-0.3 MVA de Barra do Peixe e houve explosão do cubículo 13.8 kV, com conseqüente danificação da referida chave, o sistema se encontrava na configuração base mostrada no Anexo 1.

2.0 - CONFIGURAÇÃO BASE E DADOS UTILIZADOS

A configuração base do Anexo 1 foi montada tomando-se a configuração do campo no dia da ocorrência (21/08/07), com utilização de equivalente de curto-circuito em Barra do Peixe 230 kV e simulação dos principais componentes, como a seguir descrito:

- Equivalente 14 em Barra do Peixe injetando no 230 kV: 47 MW + j 59 Mvar;
- ATF Barra do Peixe 230/138/13.8 kV-50 MVA ;
- Cabo 13.8 kV de 115 m (300 mm²) do terciário do ATF até a chave seccionadora a ser manobrada;
- Cabo 13.8 kV de 55 m (300 mm²) da chave seccionadora a ser manobrada até os TFs 1 e 2 auxiliares 13.8/0.38 kV-0.3 MVA, também representados com curva de saturação de joelhos 1.0 pu ou 1.1 pu e Xac de 15 % ou 60 %;
- Cabo 0.38 kV de 20 m (400 mm²) do TF 1 auxiliar até a casa de relés;
- Cabo 0.38 kV de 15 m (4 x 2.5 mm²) da casa de relés até a casa de apoio;
- Carga de 0.003 MW + j 0.00225 Mvar na casa de relés;
- Carga de 0.001 MW + j 0.00075 Mvar na casa de apoio;
- Neutro flutuante no secundário do TF 2 auxiliar 13.8/0.38 kV-0.3 MVA e
- TF de aterramento 13.8/34.5 kV-1 MVA com delta 34.5 kV em vazio.

Esta configuração base foi ajustada com as seguintes tensões:

- Barra do Peixe 230 kV: 1.05 pu
- Barra do Peixe 13.8 kV (ATF 50 MVA): 1.037 pu
- Barra do Peixe 13.8 kV (Chave): 1.037 pu
- TFs 1 e 2 auxiliares lado 13.8 kV: 1.037 pu
- TFs 1 e 2 auxiliares lado 0.38 kV: 1.034 pu
- Casa de relés 0.38 kV: 1.034 pu
- Casa de apoio: 1.034 pu

Os contatos da chave seccionadora 13.8 kV foram considerados com máxima dispersão de 17 milisegundos e dos disjuntores, 6 milisegundos.

A chave seccionadora tem corrente nominal de 630 Aef, tem capacidade de interrupção de corrente de 24 kAef com duração de até 1 segundo e a máxima corrente de curto suportável é de 60 kAef, conforme informações do fabricante.

Os fusíveis da chave seccionadora 13.8 kV de Barra do peixe tem valor nominal de 32 Aef e suportabilidade conforme informações do fabricante, a seguir:

- 50 Aef (70.7 Ap) por tempo indeterminado
- 60 Aef (84.9 Ap) por 600 segundos
- 100 Aef (141.4 Ap) por 6 segundos
- 150 Aef (212.1 Ap) por 0.9 segundos
- 230 Aef (325.3 Ap) por 0.180 segundos

Os pára-raios de 15 kV em Barra do Peixe 13.8 kV têm capacidade de dissipação de energia de 67.5 kJ e foram representados com relação não linear corrente de descarga x tensão residual, como a seguir:

Corrente de descarga	Tensão residual
0.001 Ap	12247 Vp
100.0 Ap	28711 Vp
500.0 Ap	29200 Vp
1000. Ap	29800 Vp
2000. Ap	31000 Vp
5000. Ap	34000 Vp
10000. Ap	35000 Vp

Os dados de proteção associado à chave seccionadora 13.8 kV para manobra dos TFs auxiliares foram considerados como a seguir descrito.

- Proteção de sobrecorrente de fase temporizada do "bay" de 13.8 kV
AJUSTES: 240 ampères, curva normal inversa C = 0.30;
- Proteção de sobrecorrente de fase temporizada do delta do autotransformador 13.8 kV AJUSTES: 240 ampères, curva normal inversa C = 0.55;
- Proteção de sobrecorrente de neutro instantânea e temporizada do alimentador de 13.8 kV. AJUSTES: 1200 ampères e 120 ampères (curva normal inversa C = 0.1) respectivamente;

- Proteção de sobrecorrente de neutro temporizada do transformador de aterramento 13,8 kV AJUSTES: 24 ampères, curva normal inversa C = 0.30.

3.0 - RESULTADOS E ANÁLISE

3.1 Curto-circuito Trifásico na Chave Seccionadora 13.8 kV

Na configuração base foi aplicado curto-circuito trifásico no barramento 13.8 kV da chave seccionadora, sistemático com maximização da corrente de curto, obtendo-se máxima corrente de curto trifásico de 1605 Ap na fase C no 230 kV, correspondente a 9.0 pu da corrente nominal de 177.5 Ap do ATF 50 MVA de Barra do Peixe, lado 230 kV, conforme figura 3.1-1.

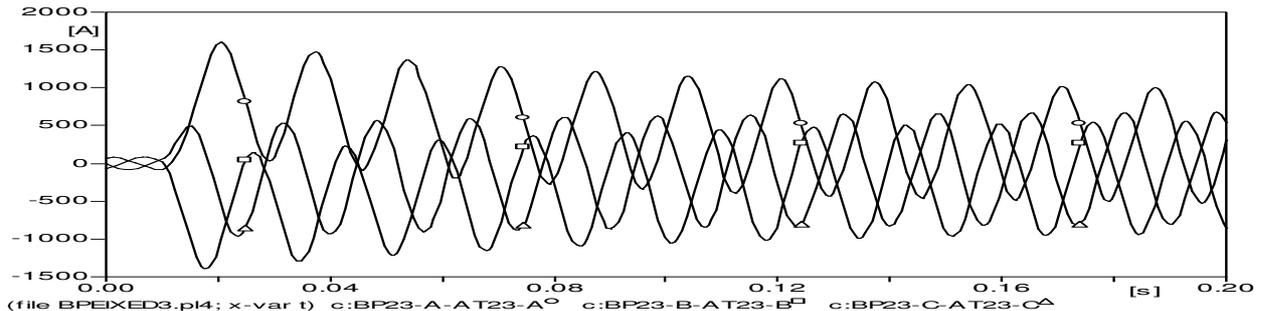


Figura 3.1-1 Correntes simuladas de curto trifásico no 230 kV de Barra do Peixe

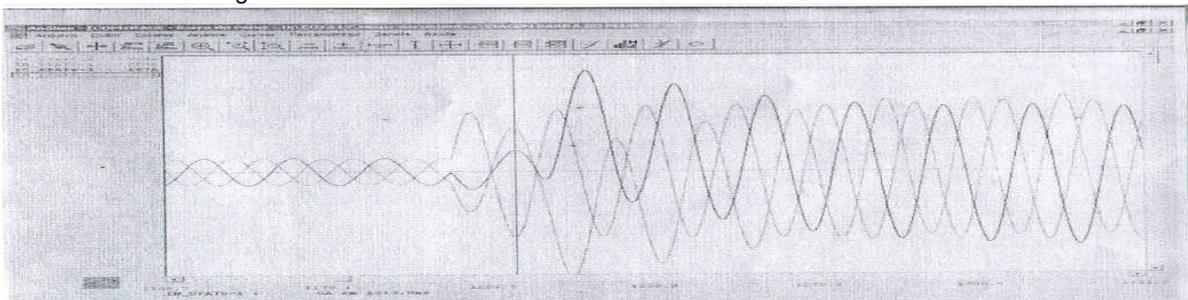


Figura 3.1-2 Correntes de curto no 230 kV de Barra do Peixe registradas em campo

A figura 3.1-2 mostra registro no 230 kV de Barra do Peixe, em campo, da corrente de curto circuito com máximo valor de 638.5 Ap, portanto, inferior ao simulado. Como a simulação é maximizada era de se esperar valores simulados maiores que os medidos em campo. Outros instantes de fechamento não maximizados dão valores simulados menores como valor de 763 Ap (19 % maior que o medido em campo).

Observe-se que a chave tem corrente nominal de 630 Aef e suporta corrente de curto-circuito trifásico de 60000 Aef (84853 Ap) por 1 segundo, portanto com capacidade de suportar corrente de curto-circuito trifásico no 13.8 kV, cujo máximo valor de pico simulado foi de 26236 Ap.

3.2 Manobra de Fechamento da Chave Seccionadora 13.8 kV

Na configuração base foi feita manobra de fechamento da chave 13.8 kV de Barra do Peixe, com maximização estatística das correntes de "inrush", obtendo-se máxima corrente de "inrush" na chave de 331.9 Ap na fase B, conforme figura 3.2-1, correspondente a 0.38 pu da corrente nominal de 630 Aef da chave manobrada, reduzindo-se para 150.0 Ap (0.17 pu da corrente nominal de 630 Aef da chave manobrada), após 500 milissegundos.

Observe-se na figura 3.2-1 que na fase A a máxima corrente de "inrush" na chave foi de 233.4 Ap e na fase C foi de 158.1 Ap.

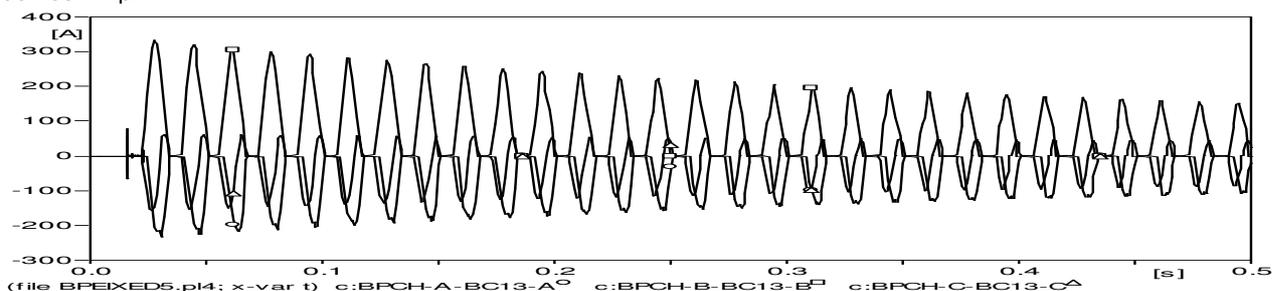


Figura 3.2-1 - Corrente de "inrush" na chave manobrada

Ressalta-se que os fusíveis da chave seccionadora 13.8 kV têm corrente nominal de 32 Aef (45.2 Ap) e que as correntes obtidas na chave na manobra de fechamento romperiam o fusível da fase B em tempo da ordem de 180 milissegundos, o fusível da fase A em tempo da ordem de 760 milissegundos e o fusível da fase C em tempo da ordem de 6 segundos, considerando-se a hipótese de amortecimento desprezível.

Segundo a análise da ocorrência, os fusíveis da chave seccionadora 13.8 kV de Barra do Peixe foram rompidos em duas fases.

A corrente de "inrush" obtida no TF1 auxiliar tem valor máximo de 166.0 Ap, conforme figura 3.2-2, correspondente a 9.35 pu da corrente nominal de um dos TFs auxiliares de 17.75 Ap no lado 13.8 kV, reduzindo-se para 75.9 Ap (4.28 pu da corrente nominal de um dos TFs auxiliares de 17.75 Ap no lado 13.8 kV), após 500 milissegundos.

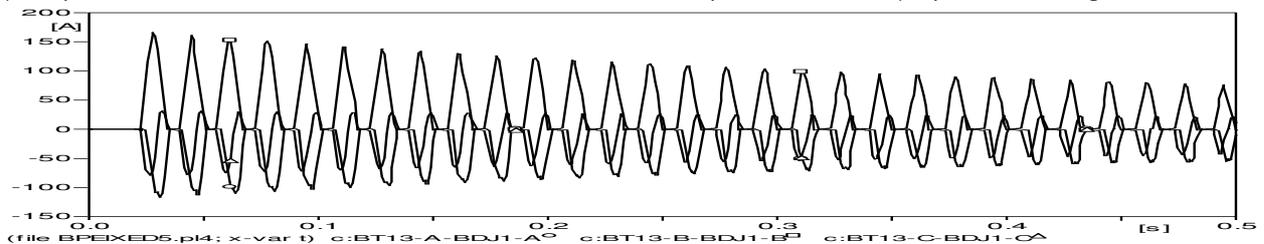


Figura 3.2-2 - Corrente de "inrush" no TF1 auxiliar de Barra do Peixe

A máxima corrente de "inrush" no TF2 auxiliar foi de 165.9 Ap, portanto da mesma ordem que no TF1.

A figura 3.2-2 mostra amortecimento considerável indicando não se esperar problemas de energização simultânea dos dois TFs auxiliares pela chave 13.8 kV, na hipótese de não rompimento dos fusíveis da mesma.

A figura 3.2-3 mostra a tensão na chave 13.8 kV com valor máximo de 13.1 kVp (1.163 pu), indicando não haver sobretensão preocupante na manobra de fechamento da chave que justifique ruptura dielétrica entre as fases ou pólos da chave com possível evolução para explosão no cubículo desta chave.

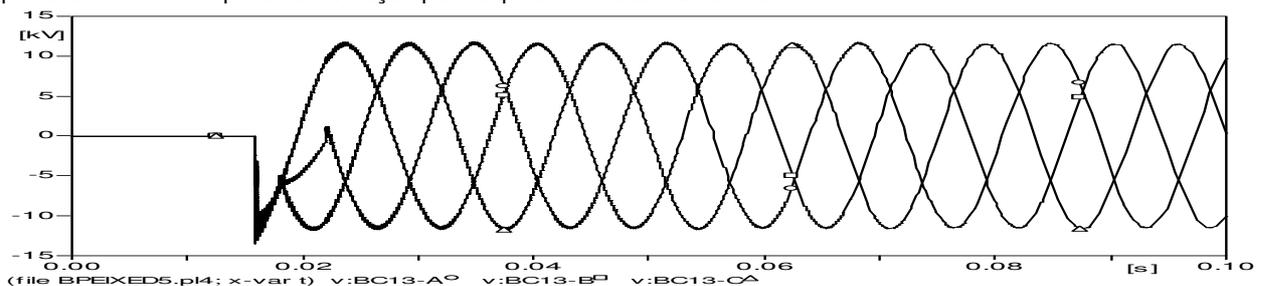


Figura 3.2-3 Tensão na chave 13.8 kV

3.3 Manobra de Abertura da Chave Seccionadora 13.8 kV

Na configuração base foi feita manobra de abertura sem falta (eventual) da chave 13.8 kV de Barra do Peixe, após manobra de fechamento e estabilização do sistema conforme configuração no Anexo 1, interrompendo fluxo de 0.0236 MW + j .0154 Mvar (1.6 Ap), com interrupção brusca de pequena corrente indutiva no valor de pico de 1.6 A, obtendo-se 14.67 kVp (1.302 pu) entre os pólos da chave após a abertura, conforme figura 6.3-1, portanto, sem problemas de suportabilidade para os equipamentos.

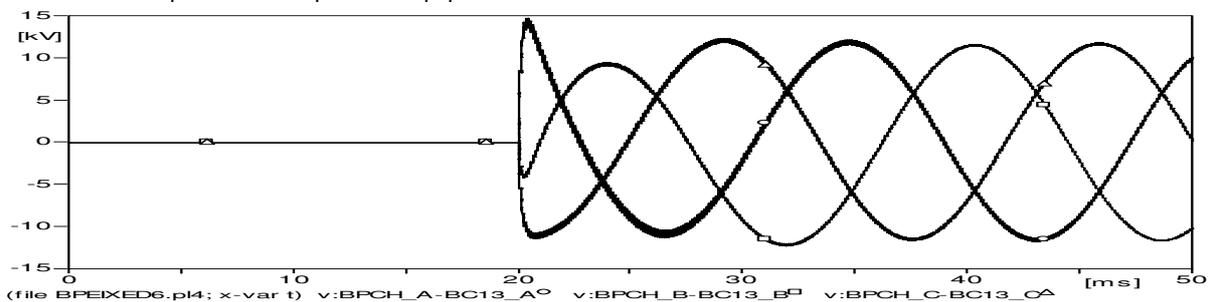


Figura 3.3-1 Tensão entre os pólos da chave 13.8 kV de Barra do Peixe

Para simular o rompimento do fusível, com passagem da corrente por zero durante a manobra de energização dos TFs auxiliares, na configuração base foi feita manobra de abertura da chave 13.8 kV de Barra do Peixe, após 180 ms da manobra de fechamento conforme configuração no Anexo 1, com interrupção das três fases na passagem da corrente por zero, obtendo-se 16.787 kVp (1.490 pu) entre os pólos da chave após a abertura, conforme figura 6.3-2, portanto, sem problemas de suportabilidade para os equipamentos.

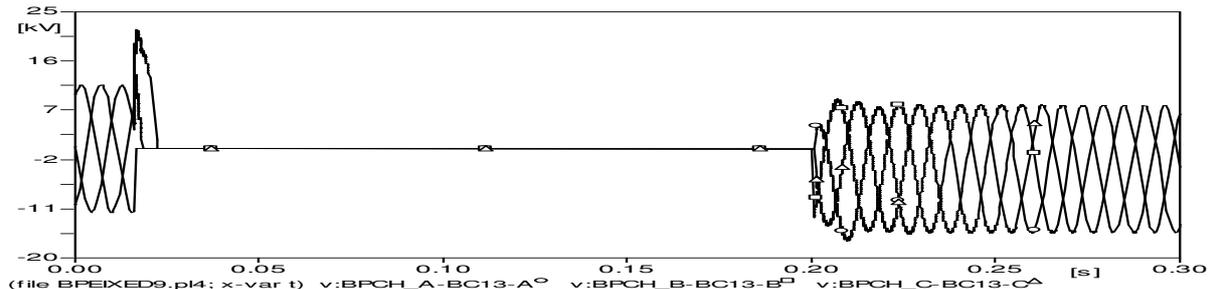


Figura 3.3-2 Tensão entre os pólos da chave 13.8 kV de Barra do Peixe

Para simular o rompimento do fusível, com interrupção da corrente fora do zero durante a manobra de energização dos TFs auxiliares, na configuração base foi feita manobra de abertura da chave 13.8 kV de Barra do Peixe, após 180 ms da manobra de fechamento conforme configuração no Anexo 1, com interrupção na passagem da corrente por 17.75 Ap que corresponde à corrente nominal de um dos TFs auxiliares, obtendo-se 53.103 kVp (4.713 pu) entre os pólos da chave após a abertura, conforme figura 3.3-3, portanto, causando reigitação nos pólos da chave manobrada e podendo causar problemas de suportabilidade para os equipamentos.

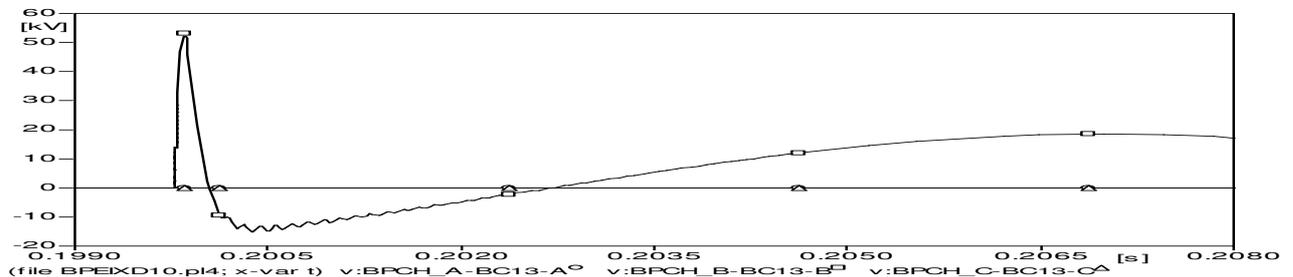


Figura 3.3-3 Tensão entre os pólos da chave 13.8 kV de Barra do Peixe

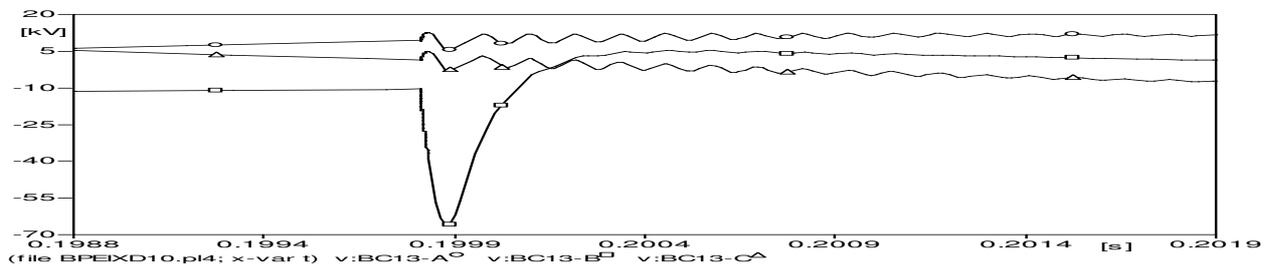


Figura 3.3-4 Tensão na chave 13.8 kV de Barra do Peixe, lado aberto da carga

A figura 3.3-4 mostra que a tensão máxima na chave 13.8 kV do lado aberto da carga alcança valor extremamente elevado, com máximo de 66.50 kVp (5.90 pu) podendo envolver para curto circuito entre fases ou fase terra na chave, devido ao elevado valor interrompido da corrente indutiva (17.75 Ap).

Como alternativa de solução para redução das sobretensões no lado da carga, na configuração base foi refeita manobra de abertura da chave 13.8 kV de Barra do Peixe, após 180 ms da manobra de fechamento conforme configuração no Anexo 1, com interrupção na passagem da corrente por 17.75 Ap que corresponde à corrente nominal de um dos TFs auxiliares, acrescentando-se pára-raios no barramento BC13 (na chave do lado da carga), de mesmas características dos de Barra do Peixe 13.8 kV, obtendo-se 17.417 kVp (1.546 pu) entre os pólos da chave após a abertura, conforme figura 3.3-5, portanto, sem problemas de suportabilidade para os equipamentos.

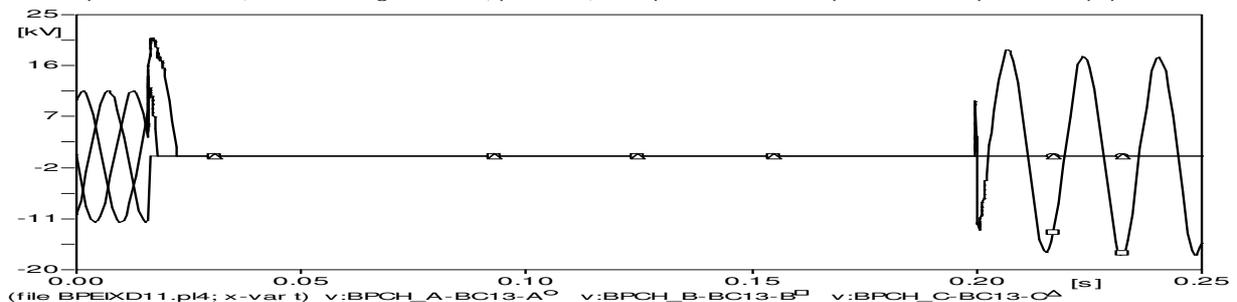


Figura 3.3-5 Tensão entre os pólos da chave 13.8 kV de Barra do Peixe

4.0 - CONCLUSÃO

Os fusíveis da chave seccionadora 13.8 kV têm corrente nominal de 32 Aef (45.2 Ap) e as correntes obtidas na chave na manobra de fechamento poderiam romper o fusível da fase B em tempo da ordem de 180 milisegundos, o fusível da fase A em tempo da ordem de 760 milisegundos e o fusível da fase C em tempo da ordem de 6 segundos, justificando o rompimento dos fusíveis em duas fases, conforme constatado durante a ocorrência de 21/08/07.

Na configuração base, a manobra de abertura sem falta (eventual) da chave 13.8 kV de Barra do Peixe, após manobra de fechamento e estabilização do sistema, interrompendo fluxo de 0.0236 MW + j .0154 Mvar (1.6 Ap), com interrupção brusca de pequena corrente indutiva no valor de pico de 1.6 Ap, apresentou máxima tensão de 14.67 kVp (1.302 pu) entre os pólos da chave após a abertura, portanto, sem problemas de suportabilidade para os equipamentos.

Se o rompimento do fusível se desse com passagem da corrente por zero, durante a manobra de energização dos TFs auxiliares de Barra do Peixe e após 180 ms da manobra de fechamento, se obteria 16.787 kVp (1.490 pu) entre os pólos da chave, portanto, sem problemas de suportabilidade para os equipamentos.

Se o rompimento do fusível se desse com passagem da corrente por 17.75 Ap que corresponde à corrente nominal de um dos TFs auxiliares e após 180 ms da manobra de fechamento, se obteria 53.103 kVp (4.713 pu) entre os pólos da chave, portanto, causando reinição nos pólos da chave manobrada e podendo causar problemas de suportabilidade para os equipamentos.

A alternativa de instalação de pára-raios no 13.8 kV, lado da carga, de mesmas características dos de Barra do Peixe 13.8 kV, reduziria a sobretensão de 53.103 kVp (4.713 pu) para 17.417 kVp (1.546 pu) entre os pólos da chave, portanto, sem problemas de suportabilidade para os equipamentos.

As simulações efetuadas permitem concluir que as sobretensões no lado da carga, imediatamente após abertura da chave 13.8 kV dos TFs 1 e 2 auxiliares 13.8/0.48 kV-0.3 MVA de Barra do Peixe ou de seus fusíveis, dependem fortemente da intensidade da corrente indutiva interrompida, atingindo-se valores inaceitáveis para os equipamentos.

As simulações efetuadas permitem concluir, também, que as sobretensões no lado do sistema, imediatamente após abertura da chave 13.8 kV dos TFs 1 e 2 auxiliares 13.8/0.48 kV-0.3 MVA de Barra do Peixe ou de seus fusíveis, praticamente não dependem da intensidade da corrente indutiva interrompida, não se registrando valores preocupantes.

A substituição da chave que manobra os TFs 1 e 2 auxiliares 13.8/0.48 kV-0.3 MVA de Barra do Peixe por disjuntor aplicável a sistema em 13.8 kV resolve o problema de sobretensões na manobra de abertura destes TFs e equipamentos associados, sem necessidade de utilização de fusíveis e sem pára-raios no lado da carga.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

João Ferreira de Lima Filho

Engenheiro Eletricista formado em Recife 1973, Pós Graduação Na COPPE-Rio de Janeiro 1979, Doutorando na UNB-Brasília. Trabalhou na ELETRONORTE 1979 a 2000. Área de interesse Estudos Elétricos, principalmente Transitórios Eletromagnéticos. Atualmente Sócio-Proprietário da Potência Engenharia.

ANEXO 1 CONFIGURAÇÃO ATP

OCORRÊNCIA BARRA DO PEIXE 21.08.2007 CONFIGURAÇÃO ATP

