



V SBQEE

Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica

17 a 20 de Agosto de 2003

Aracaju – Sergipe – Brasil



Código: AJU 04 115

Tópico: Análise, Diagnósticos e Soluções

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ATERRAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE ALTA TENSÃO SOBRE O ATERRAMENTO DO NEUTRO DO TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO: ESTUDO DE CASO

Prof. D.Sc. José Tavares de Oliveira \*  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

### RESUMO

Nesse trabalho apresentaremos um estudo de transitórios eletromagnéticos em um alimentador de distribuição em 13,8 KV, para identificar as causas da energização do neutro de um transformador pela alta tensão e os danos causados aos equipamentos de um consumidor. Para efetuar esse estudo, foi utilizado o simulador digital ATP (Alternative Transient Program) na simulação de transitórios eletromagnéticos, ocasionados pelos chaveamentos de religador automático e pelos curtos-circuitos. Para a simulação no tempo, a SE foi modelada pela impedância de curto-circuito na SE, e os trechos da linha de transmissão, por um circuito PI equivalente. O consumidor foi modelado pela impedância de curto-circuito de seu transformador, pelo condutor que liga o transformador ao quadro geral e pelo condutor que liga o quadro geral ao quadro de distribuição. Os resultados obtidos da simulação e os valores registrados das correntes de curto-circuito do alimentador pela concessionária de energia elétrica, COSERN, deram as condições necessárias para determinar as causas da energização do neutro do transformador pela alta tensão.

### PALAVRAS-CHAVES:

Transitórios, Simulação, Transformador, Curto-Circuito, Religador.

### 1.0 INTRODUÇÃO

O objetivo desse trabalho é fazer um estudo de transitório eletromagnético em um alimentador de distribuição de 13.kV a fim de identificar as possíveis causas da energização do neutro do transformador de um consumidor particular pela alta tensão, e verificar se eram justas as reclamações de danos causados a vários equipamentos [1],[2].

No dia 30/09/2001, houve duas ocorrências envolvendo o alimentador, conforme informaram os engenheiros que atenderam às ocorrências: às 9:08 h, religamento do alimentador 01P2-RBA que atende ao consumidor atuando as proteções 5051 ABC; às 09:10 h, desligamento automático do alimentador 01P2-RBA e desligamento da chave seccionizadora telecomandada localizada a jusante do consumidor. O religador 01P2-RBA foi normalizado às 09:12 h e o seccionizador às 09:32. Após a normalização, foi identificado um pára-raios danificado em um transformador localizado a jusante da chave seccionizadora.

Na primeira ocorrência em que houve o religamento automático do alimentador, às 09:08 h, foi registrada uma corrente de 3.265 A na chave seccionizadora telecomandada, devido a um curto-circuito nas instalações de alta tensão em uma unidade da UFRN, energizada pelo mesmo alimentador. Na segunda ocorrência, houve o desligamento automático do alimentador e da chave seccionizadora telecomandada às 09:10 h. Há também um registro na chave

seccionalizadora de uma corrente de curto-circuito de 595 A.

No período das 09:08 h às 09:12 h, o cliente que denominaremos de N.H, telefonou para o teleatendimento, reclamando de falta de energia. Às 09:30 h, o mesmo cliente telefonou novamente reclamando que suas cargas não estavam energizadas. Mas, como a chave seccionalizadora continuava fora de serviço, foi dada a informação de que havia falta de energia na área. Às 12:01 h, o teleatendimento recebeu outra reclamação do cliente N.H comunicando que as chaves fusíveis de seu transformador haviam atuado. Imediatamente, uma equipe da COSERN se dirigiu até o cliente onde constatou que o suporte de uma das chaves fusível estava danificado com cartucho e fusível queimado e as outras com os fusíveis queimados, o que caracterizava um curto-circuito interno nas instalações do consumidor.

## 2.0 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

Para executar um estudo mais aprofundado, com o objetivo de reproduzir, através de simulação em computador digital, o que realmente ocorreu naquela ocasião, foi necessário fazer uma vistoria e medições de parâmetros nas instalações do cliente N.H, no alimentador da COSERN e na unidade da UFRN.

### 2.1 Vistoria e Medições

Através de uma vistoria e de medições efetuadas nas instalações do consumidor constatou-se que:

1. O transformador do N.H está instalado em um poste com resistência de terra de 60 ohms;
2. A resistência de terra das instalações elétricas é de 11,72 ohms;
3. Os aterramentos são separados
4. Há interruptores de corrente de fuga no quadro de distribuição;
5. A resistência de aterramento da chave seccionalizadora é de 14,0 ohms
6. A resistência de terra da unidade da UFRN é de 26,2 ohms;
7. Os pára-raios da unidade da UFRN haviam atuado.

### 2.2 Modelagem

Para a simulação no domínio do tempo, o alimentador da COSERN e o cliente N.H foram modelados conforme abaixo:

#### Alimentador

- Impedância de curto-circuito na SE  
 $Z_1=0,056370241+j1,24319232$  ohms  
 $Z_0=j0,87697662$  ohms
- Fonte equivalente na SE; tensão máxima fase-terra de 11.267 volts
- Os trechos da linha de distribuição de 13.8 kV foram modelados por um PI equivalente, considerando: resistência, indutância e capacitância. O solo com resistividade média de 1.000 ohms.m. Os condutores foram colocados com espaçamento assimétrico na horizontal.
- O religador fecha eletricamente os contatos nos tempos ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,0111s$ ) e ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,0555s$  e  $t_3=0,00286s$ ).
- As cargas dos consumidores refletidas no lado de 13.8 kV. Os transformadores são considerados lineares.
- Resistência de curto-circuito envolvendo pára-raios de 3,0 ohms.
- Resistência de curto-circuito fase terra de 26,0 ohms.

#### Cliente N.H

- Transformador trifásico 13.800/380/220 volts de 225 kVA.  
 Impedância de curto-circuito de 4,48%.
- Distância de 30m do transformador até o quadro geral. Condutores de 240mm<sup>2</sup>.
- Distância de 20m do quadro geral ao quadro de distribuição. Condutores de 120mm<sup>2</sup>.

## 3.0 - DESENVOLVIMENTO

Para reproduzir as ocorrências registradas foi necessário um estudo mais aprofundado, por simulação, em regime transitório. Para isso, foi utilizado o programa de computador digital ATP [4]. Esse programa simula, no domínio do tempo, uma rede elétrica constituída de linhas de transmissão, transformadores, cargas elétricas, entrada e saída de disjuntores em tempos definidos e calcula a tensão e a corrente no local desejado.

Na simulação, foi elaborada uma seqüência de condições operacionais no alimentador e nas instalações do cliente N.H, com a finalidade de

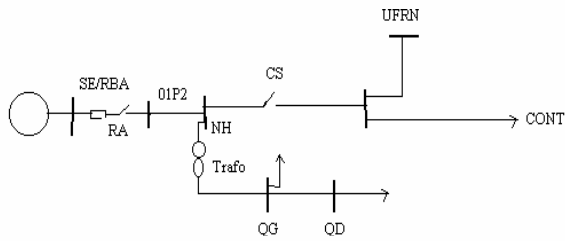


Figura 1 - Diagrama unifilar simplificado da rede COSERN/N.H.

- SE/RBA -- Subestação Ribeira
- RA -- Religador automático
- 01P2 -- Alimentador
- N.H -- Cliente
- QG -- Quadro geral
- QD --Quadro de distribuição
- CS -- Chave seccionalizadora
- UFRN --Unidade da UFRN
- CONT --Continuação do alimentador

quantificar a amplitude das grandezas produzidas pelas ocorrências registradas. Para isso, utilizaremos um diagrama unifilar simplificado do circuito elétrico envolvido.

#### 4.0 - RESULTADOS

Na simulação, foi executado um conjunto de operações no religador, para a energização do alimentador nos tempos e ocorrências a seguir:

1. Energização do RA nos tempos ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,0111s$ )
2. Curto-circuito trifásico na unidade da UFRN. Os resultados dessa simulação estão nos gráficos das Figuras 2 e 3.
3. Energização do alimentador com um curto-circuito fase-terra na unidade da UFRN, seguido de curto-circuito trifásico no quadro de distribuição do cliente N.H. Os resultados dessa simulação estão nos gráficos das Figuras 4 e 5.
4. Energização do RA nos tempos ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,00286s$ )
5. Energização do alimentador em condições normais de operação seguido de um curto-circuito na fase b, no lado de alta tensão, envolvendo o neutro do transformador com resistência de terra de 60 ohms, no cliente N.H. O resultado dessa simulação está no gráfico da Figura 6.
6. Idem com resistência de terra de 10 ohms. O resultado dessa simulação está no gráfico da Figura 7

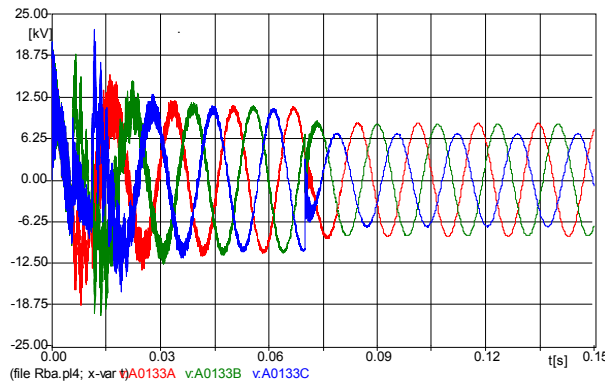


Figura 2 - Comportamento da tensão no lado de alta tensão do transformador do N.H para um curto-circuito trifásico na unidade da UFRN. ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,0111s$ ).

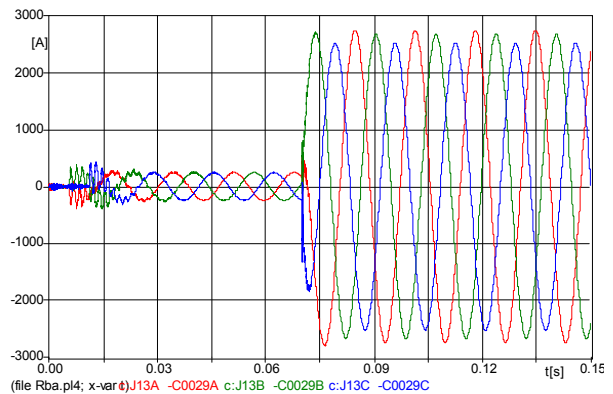


Figura 3 - Comportamento da corrente na chave seccionalizadora telecomandada para um curto-circuito trifásico na unidade da UFRN. ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,0111s$ ).

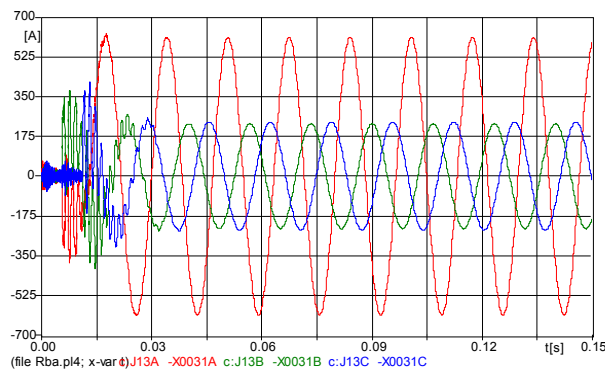


Figura 4 - Comportamento da corrente na chave seccionalizadora telecomandada para uma energização do alimentador com um curto-circuito fase-terra na unidade da UFRN. ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,0111s$ ).

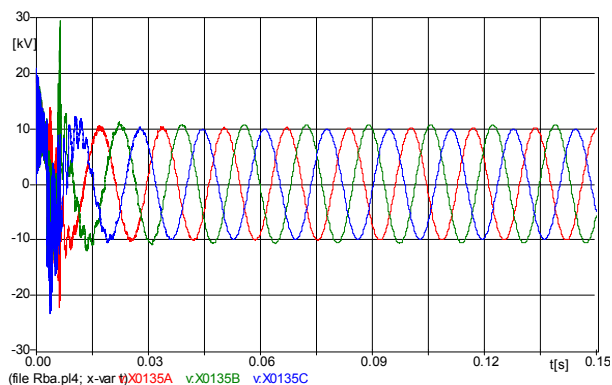


Figura 5 - Comportamento da tensão no lado de alta tensão do transformador do N.H para uma energização do alimentador com um curto-circuito fase-terra na unidade da UFRN. ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,0111s$ ).

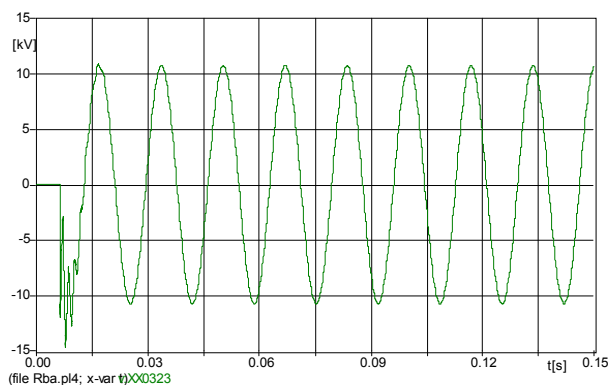


Figura 6 - Comportamento da tensão no neutro do transformador do N.H quando há rompimento do isolamento do suporte do porta fusível. Energização do alimentador em condições normais de operação seguido de um curto-circuito na fase b, no lado de alta tensão. Resistência de terra de 60 ohms. ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,00286s$ ).

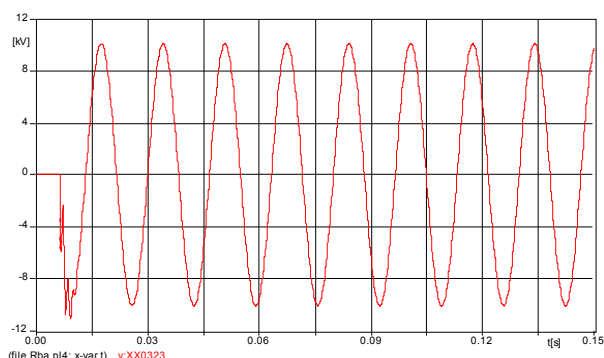


Figura 7 - Idem. Energização do alimentador em condições normais de operação seguido de um curto-circuito na fase b, no lado de alta tensão. Resistência de terra de 10 ohms. ( $t_1=0s$ ,  $t_2=0,00555s$  e  $t_3=0,00286s$ ).



Figura 8 - Foto das chaves A e B no transformador do N.H.

## 5.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

As simulações efetuadas no alimentador 01P2-RBA no sentido de reproduzirem as ocorrências do dia 30/09/2001 mostraram, pelos valores das grandezas calculadas nos pontos desejados, que houve concordância com os valores registrados nos equipamentos da COSERN, como mostram os gráficos das Figuras 3 e 4. No gráfico da Figura 2, pode-se observar que, quando ocorre um curto-circuito na unidade da UFRN, não são produzidas sobretensões no consumidor N.H. Entretanto, quando há energização do alimentador na condição de curto-circuito fase-terra na unidade da UFRN, simultaneamente com um curto-circuito trifásico no QD do N.H, a tensão fase-terra máxima na alta tensão da fase b, é de 28.345 V no consumidor N.H, como mostra o gráfico da Figura 5. Esse valor de tensão é aceitável para o isolamento de 15 kV com NBI de 95 kV. Nos gráficos das Figuras 6 e 7, temos os valores da tensão no neutro do transformador de 14.644 V e de 11.050 V para resistências de aterramento de 60 ohms e de 10 ohms, respectivamente, quando há o rompimento do suporte da chave fusível da fase b. Portanto, o neutro fica energizado com alta Tensão.

## 6 - AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo "Programa de Pesquisa & Desenvolvimento da COSERN". Projeto "Transitórios Eletromagnéticos em Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Ênfase à Qualidade da Energia Elétrica" em convênio a Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

## 7.0 - CONCLUSÕES

Constata-se pelos valores obtidos na simulação e os valores registrados na CS que, na primeira ocorrência, houve um curto-circuito trifásico na unidade da UFRN, envolvendo o lado de alta

tensão do transformador e, posteriormente, na segunda ocorrência, houve um curto-circuito trifásico no QD do N.H simultaneamente com um curto-circuito fase-terra na unidade da UFRN. A razão para a afirmação dos tipos de curto-circuito é a concordância dos valores das correntes obtidas na simulação com os valores registrados na CS.

Quanto ao dano do isolador da chave fusível, presume-se que foi por um curto-circuito fase-terra na alta tensão envolvendo a fase b, causado pela diminuição da resistência de isolamento devido a danos mecânicos ou pela diminuição da resistência de isolamento, provocada pela salinidade local e rompida por sobretensão transitória, limitada ao valor da tensão de referência do pára-raios.

Seja qual foi o motivo do rompimento do isolamento, o curto-circuito envolveu o condutor do neutro do transformador por se encontrar conectado à ferragem da chave fusível, através do condutor de aterramento dos pára-raios, como mostra a foto da Figura 8. Dessa forma, o neutro do transformador ficou energizado com a tensão correspondente à fase b, cujo valor pode ser observado no gráfico da Figura 6. Assim sendo, a energização do neutro do transformador com alta tensão provocou o rompimento do isolamento entre o neutro e o terra dos equipamentos aterrados, o rompimento do isolamento entre o condutor neutro do circuito e um ponto da terra ou a ocorrência dos dois simultaneamente.

Dessa forma, foram provocados danos nos equipamentos elétricos ligados a rede elétrica energizada com alta tensão na ocasião do defeito.

Esses danos poderiam ter sido evitados se o aterramento do neutro do transformador fosse separado do aterramento dos dispositivos de alta tensão.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. T. Oliveira, *Relatório Técnico: Estudo de Transitórios Eletromagnéticos no Alimentador 01P2-RBA da COSERN-Danos em Equipamentos*,. COSERN/DEE/UFRN. Nov/2001.
- [2] J. T. Oliveira, "Analysis of the Influence of Grounding Device of High Voltage on the Neutral of the Transformer of Distribution: A Case Study. *Ground'2002. International Conference on Grounding and Earthing. November 4-7, 2002. Rio de Janeiro-Brazil. Pp. 297-300.*
- [3] J. T. Oliveira, *Apostila de Análise de Sistemas de Potência*, UFRN, Natal-RN, 1998.
- [4] *Documentação sobre o simulador digital ATP (Alternative Transients Program)*. <http://www.ee.mtu.edu/pub/atp>.
- [5] Matrinez –Velasco, "Computer Analysis of Electric Power System Transients", *Select Readings. IEEE 1997.*