



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

GSC - 30
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

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

**ASPECTOS DO DESEMPENHO TRANSITÓRIO
DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL EM SUBESTAÇÕES**

Vera Lúcia de Castro Soares*

UFSC

**Breno Torres Meyer
Orlando José Rothstein**

ELETROSUL

**Luís Egídio Loch
Valci Vítor Coelho**

RESUMO

Este trabalho mostra aspectos do comportamento transitório do transformador de potencial que podem afetar o desempenho de uma rede, notadamente ao provocar desligamentos indevidos na alta tensão. A supressão rápida de oscilações espúrias no secundário do transformador de potencial tradicional é o que geralmente se tem em vista para evitar que, pela ocorrência do fenômeno de ferro-ressonância, a sobretensão e/ou a ruptura de fusíveis sejam causas de desligamento. Também se trata de situações em subestações de alta tensão convencionais onde é necessária eliminação de oscilações mais rápida do que o limite máximo de duração recomendado na norma. Com relação a estes problemas, aos quais a operação de sistemas elétricos de potência está exposta, são apresentadas algumas características, estudos feitos e resultados de análises e testes de campo com o equipamento.

PALAVRAS-CHAVE

Chaveamento - ferro-ressonância - transformador de potencial - transitório.

1.0 INTRODUÇÃO

O problema de projetar/operar sistemas elétricos com parâmetros nominais não suficientemente afastados das fronteiras de ferro-ressonância/bifurcação/perda de estabilidade pode se manifestar após chaveamentos na rede. Dentre os problemas pós-manobra revelados e associados às não-linearidades um é a ferro-ressonância em subestações, iniciada na fase de transitórios eletromagnéticos e envolvendo transformadores de potência ou de instrumentos. Embora os mecanismos que precipitam e/ou eliminam a ferro-ressonância sejam estudados há mais de 50 anos, ainda hoje a experiência operativa com transformadores de potencial tradicionais registra frequentemente efeitos desastrosos como:

- atuação indevida de proteção de sobretensão desligando linhas de transmissão e outros equipamentos de alta tensão ou inserindo reatores, por indicação errônea do transformador de potencial. Por exemplo, uma situação que sensibiliza os relés 59 (sobretensão) é a ferro-ressonância originada nos circuitos secundários de Transformadores de Potencial Capacitivos (TPCs) por transitórios longos associados à manobra de chave seccionadora na alta tensão. Outra situação é a variação súbita (acidental ou não) na impedância equivalente de carga do TPC, ou mesmo o curto-circuito secundário momentâneo, que pode excitar ferro-ressonância e chegar a provocar atuação de relé conectado no enrolamento secundário de proteção;
- dispositivos protetores danificados em TPCs também ocasionam, durante chaveamentos rotineiros na rede, sobretensões ferro-ressonantes e/ou sobrecorrentes (que levam à ruptura de fusíveis), além de sobretensões de alta frequência nos secundários dos TPCs. As consequências são desligamentos indevidos, por relé 59 ou 21 (sensibilização por falta de potencial, no caso de ruptura de fusível), bem como danos por efeitos dielétricos/térmicos em relés, transdutores, etc. Tais problemas, no caso da Eletrosul, não têm sido detectados durante comissionamento ou início de operação, mas somente após muitos anos de serviço do equipamento, principalmente quando a frequência de chaveamento e o número acumulado de manobras são altos (1);

* Avenida Arruda Ramos, 1416/901
88015-700 Florianópolis SC
Tel.: (048)225-3620
E-mail: vcsoares@newsite.com.br

- quando há condição para a ferro-ressonância sustentada nas subestações com Transformadores de Potencial Indutivos (TPIs), esta geralmente se manifesta logo após a entrada em operação. No sistema da Eletrosul este tipo de problema já causou destruição do próprio TP e danos em outros componentes do circuito afetado (2) porque o salto ferro-ressonante em 60Hz geralmente levava a um novo regime permanente com valores de pico e eficaz de fluxo, de corrente e de tensão significativamente aumentados.

Este trabalho analisa aspectos das sobretensões, em frequência fundamental ou próxima dela, excitadas principalmente durante manobra com chave seccionadora e vistas através de TPC (ou TPI) em subestações de alta tensão. São fenômenos presentes em todo lugar e complicados para análise. Por se tratar de um circuito repleto de não-linearidades é difícil prever o comportamento da ferro-ressonância. Um só chaveamento na alta tensão origina na tensão secundária do transformador até três padrões sucessivos de resposta transitória:

- padrão arco (que pode ter longa duração, alcançando até segundos, é observado na alta e baixa tensões de TPC e TPI). O arco propicia uma variação na tensão de alimentação do TPC. Mesmo uma variação gradual na alimentação pode ser causa de uma variação súbita na amplitude e/ou frequência da resposta do TPC;
- padrão ferro-ressonante (que pode se tornar um novo regime permanente, é constatado na baixa tensão de TPC, na alta e baixa tensões no caso de TPI). Simulação do circuito equivalente mostra que a resposta é dependente das condições iniciais e que mais de uma solução de regime permanente pode se apresentar. O estado transitório pode convergir para uma solução ferro-ressonante próxima e estável, ou se afastar dela e mostrar transitórios subseqüentes de arco e de decaimento, como na Figura 1;
- cessados os reacendimentos de arco, imediatamente tem lugar o padrão de decaimento, na abertura (ou a normalização da tensão, no fechamento). A indicação do secundário do TPI é real, reflete o que ocorre no barramento de alta tensão; com TPC a carga armazenada decai mais lentamente que o indicado no secundário do transformador de potencial.

A par destes três padrões há ainda um quarto, relacionado às altas frequências geradas principalmente nas manobras de abertura e fechamento de chaves seccionadoras, e que também se manifesta nos circuitos secundários. Este pode ser um problema associado à blindagem, aterramentos, layout, e cuja solução requer adoção de práticas para assegurar a compatibilidade eletromagnética. Na Eletrosul tal problema também foi detectado, e foi medido numa subestação de 230kV conforme apresentado na referência (1). Trata-se de um caso em que no ponto de aterramento do TPC foram registrados com osciloscópio surtos de corrente com picos de alguns quiloampères, em oscilações com frequência de centena(s) de quilohertz. São oscilações com taxa de variação muito rápida e que ocorrem entre capacitâncias do equipamento e das secções de barramento.

De detecção mais simples, as ondas de tensão no padrão ferro-ressonante e no padrão de arco puderam ser percebidas através de monitoração da oscilografia usual para análise de proteção, e foram confirmadas por medições posteriores feitas nas subestações, como se mostra neste trabalho. Nas secções a seguir são apresentados tópicos sobre os chaveamentos, características do TP e do arco simulados, além de dados relativos ao equipamento usado em 230kV. Em sequência são incluídos casos práticos de problemas detectados e medidos em subestações e casos calculados.

2.0 CHAVEAMENTOS

Na Figura 1 mostram-se transitórios finais de abertura de chave seccionadora, simulada por 2 segundos. A simulação parte com tensão nominal, regime senoidal, inicia-se o processo de abertura, estabelecem-se ciclos de ferro-ressonância intensa aos 1.4s, seguidos por oscilações de tensão ainda distorcidas, mas com picos em torno ou abaixo de 1pu a partir de 1.46s (variando em degrau, compatíveis com o comportamento do arco elétrico), e finalmente decaimento a partir de 1.7s. No oscilograma de campo na Figura 2 aparecem, após 7 ciclos de tensão aparentemente normal, sobretensões ferro-ressonantes por cerca de 8 ciclos, efeitos do arco por mais alguns ciclos e finalmente tensão decaindo no barramento. A Figura 2 também mostra detalhes do registro de campo. Este caso ilustra desempenho razoável dos modelos usados para o TPC e o arco: o pico ferro-ressonante da simulação vale 200V secundários (2.13pu) e a indicação no secundário do TPC real é de 461kV primários (2.45pu; subestação de 230kV, TPC de relação 2000:1).

Para identificação através de oscilograma de tensão destacam-se a seguir diferenças que aparecem por inspeção:

- **Ferro-ressonância:** é excitada quando o núcleo do TP é levado à saturação. Como geralmente o TP satura em valor relativamente alto de fluxo, se a oscilação for em 60Hz deverá mostrar pico de tensão em torno de 2pu ou superior, como se vê nos oscilogramas de campo das Figuras 2, 3 e 8. Às vezes a tensão ferro-ressonante apresenta modulação sub-harmônica, 20Hz na maioria das ocorrências registradas. No caso da Figura 3 os picos máximos de sobretensão foram *clippados* pelo oscilógrafo. O dano em componentes do próprio TPC e em equipamentos no secundário é provocado principalmente por aquecimento, queimando TPs auxiliares, resistores, relés, rompendo fusíveis, etc.

- Arco (reacendimento): é visível na tensão que varia em degraus, no lado que está sendo desenergizado/energizado. A cada reacendimento a tensão no circuito capacitivo alcança e mantém um novo patamar (geralmente em torno de 1pu ou menor), seguindo a tensão do lado fonte, conforme ilustram as Figuras 4, 10 e 11. Os fenômenos relativos ao arco podem ser visíveis nos oscilogramas de campo e de simulação por tempo da ordem de segundo(s).

A Figura 5 ilustra uma oscilação de tensão em alta frequência, em torno dos 0.212s, cujo pico de tensão alcança valor de -0.4KV.

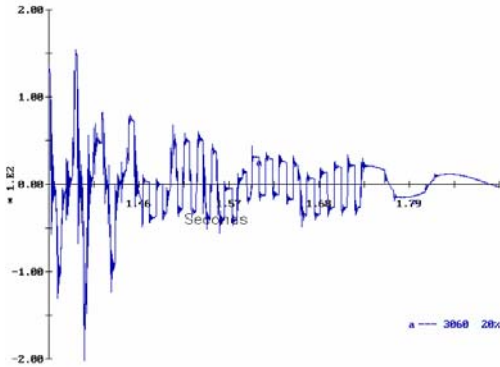


FIGURA 1: Tensão fase-terra no secundário do TPC em simulação digital de barramento sendo isolado por manobra de abertura de chave seccionadora. Escala de tensão de 200 a -200 Volts, 1pu=93.9V; escala de tempo de 1.35 a 1.9s.

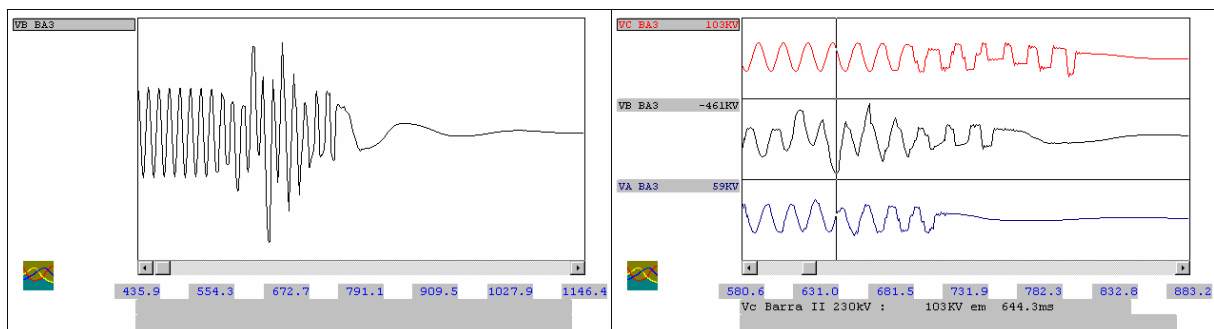


FIGURA 2: Tensão fase-terra no secundário do TPC da fase B em registro de campo (manobra de abertura de chave seccionadora para isolar um trecho de barramento). À direita detalhe da abertura das três fases, no evento real na SE Xanxerê. Cursor mostra VB: -461kV em 644ms (1pu=187.8kV).

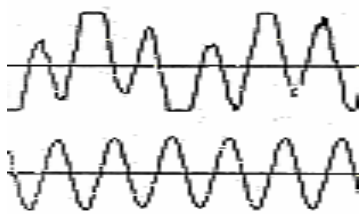


FIGURA 3: Cerca de 6 ciclos de uma ferro-ressonância sustentada em 60Hz e com modulação de 20Hz, verificada no secundário do TPC na SE Dourados (curva de cima), e uma tensão normal de 60Hz como referência (curva de baixo).

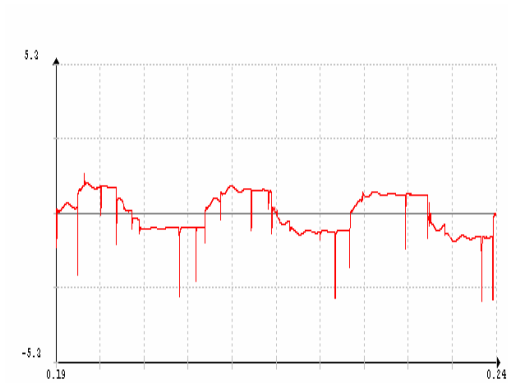


FIGURA 4: Tensão fase-terra no secundário do TPC, medida em período de arco de abertura de seccionadora na SE Xanxerê. Há algum ruído no registro. Escala de tensão de 5.3 a -5.3pu; escala de tempo de 0.19 a 0.24s.

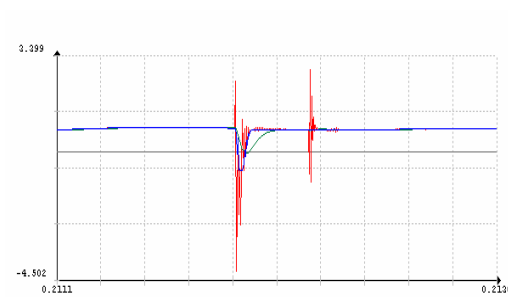


FIGURA 5: Detalhe da Figura 4, oscilações medidas em torno de 0.212s (em vermelho) e o mesmo sinal filtrado (por um passa-baixa (em verde) e por um filtro de Stout (em azul)). Escala de tensão de 3.4 a -4.5pu; escala de tempo de 0.2111 a 0.2136s.

3.0 MODELOS

Para investigar ferro-ressonância do transformador de potencial (de TPC ou TPI) o modelo inclui saturação de núcleo(s) de ferro, perdas, capacitâncias, impedâncias de *damping*, *gaps* protetores e varistores.

Os elementos usados na simulação do TPC da Figura 1 estão representados no circuito equivalente da Figura 6.

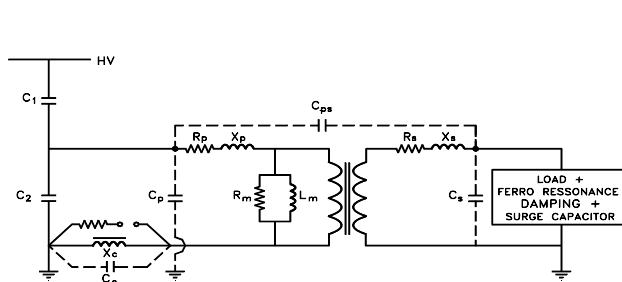


FIGURA 6: Circuito equivalente do transformador (o TPC inclui C1 e C2, capacitâncias de alta e baixa tensões e Xc, reator de compensação).

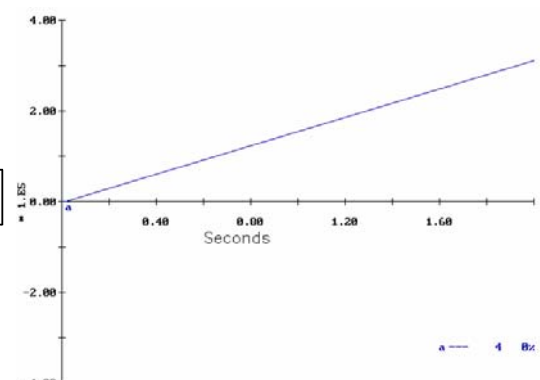


Figura 7: Tensão suportável entre contatos da chave.

O circuito do TPC é ressonante e saturável. Pode conter *spark gaps*, varistores de óxido metálico, etc. A resposta em frequência da relação de transformação do TPC simulado na Figura 1 apresenta o primeiro pico ressonante na frequência de 720Hz. A resposta a partir deste pico depende especialmente das capacitâncias parasitas (C_c , C_p , C_s) representadas em linhas tracejadas na Figura 6.

Em algumas subestações da Eletrosul onde a carga nos TPCs era muito baixa foram adicionados resistores, conforme o item 4.3, mas o principal recurso contra a ferro-ressonância é o circuito amortecedor, que deve ser suficientemente robusto frente às solicitações mais frequentes. Pode ser um circuito amortecedor RL: um reator saturável em paralelo a uma carga resistiva fixa. Cabe observar que o reator saturável deve ter sua característica de saturação verificada. Por exemplo, deve drenar corrente inferior a 0.5Arms sob tensão nominal, corrente de cerca de 5Arms sob 100Vrms (ou 1.5pu da tensão nominal de operação, 66.4Vrms), e idealmente deveria verificar ainda um terceiro ponto, mais saturado. Isto porque em serviço são aplicadas no equipamento sobretensões de até quase 3pu em 60Hz, e a efetividade do circuito amortecedor pode ficar comprometida caso o reator não seja equivalente ao de projeto, principalmente na região saturada (isto é, na região de excursão de fluxo correspondente à indutância a núcleo de ar, que é o que de fato interessa neste reator). Outro tipo de amortecedor, que não envolve saturação, é o circuito RLC sintonizado numa sub-harmônica.

Como foram constatados experimentalmente picos de corrente transitória com amplitude de até 5 KA e de curtíssima duração no aterramento da coluna capacitiva do TPC durante a medição de manobras de seccionadoras em uma subestação (1), foi também analisada a resposta do modelo para altas frequências. Por exemplo, o resultado de simulação de regime senoidal em 160kHz mostrou que uma tensão de 0.55kV pode ser induzida nos secundários do TPC, excitada por uma corrente de 3.6kA no aterramento da coluna capacitiva. No que se refere às altas frequências, o capacitor de surto usual (0.15 μ F) reduz significativamente, segundo a simulação, as sobretensões secundárias, principalmente em frequências acima de 15kHz.

No caso de TPI o elemento essencial à análise é a indutância L_m saturável. A saturação mais profunda (tanto para o TPC, como para o TPI, ou para cargas saturáveis e TPs auxiliares conectados a estes circuitos) começa a partir de fluxo superior a duas vezes ou mais o fluxo nominal de operação. A perda (principalmente a parcela devida à resistência do enrolamento primário, R_p) é importante para caracterizar o amortecimento da ferro-ressonância. A capacitância C_p pode incluir capacitâncias parasitas do enrolamento de alta tensão e do trecho de barramento adjacente.

Para simular o comportamento de arco de chave seccionadora, visto através de TP, o modelo considera que a tensão suportável cresce linearmente com a distância física entre os contatos da chave. Na Figura 7 a suportabilidade entre contatos em uma seccionadora de 230kV, que cresce à taxa de 150kV/s. O reacendimento ocorre quando a tensão que se estabelece entre os contatos, na manobra, excede a suportável. Despreza-se a tensão desenvolvida no arco.

As simulações foram feitas com o programa ATP. Elementos não-lineares foram representados como lineares por trecho. O detalhe do transitório na Figura 2 mostra que o processo típico é trifásico. Os acoplamentos entre as fases dos barramentos foram incluídos nas simulações de manobra de chave seccionadora na subestação. A simulação do curto-circuito secundário momentâneo, reproduzindo uma condição de norma (3), foi feita com representação monofásica.

4.0 CASOS PRÁTICOS

Além da amplitude máxima há interesse principalmente na duração das oscilações internas ao TPC. É necessária supressão rápida de fenômenos oscilatórios espúrios no secundário do TPC, pois se trata de sinal de tensão para os relés de proteção. Verificou-se em simulação digital de abertura de seccionadora possibilidade de tensão secundária com distorção e picos superiores a 1pu por 900ms, e por até 700ms numa medição em subestação.

4.1 Caso da SE Campo Mourão

No caso da SE Campo Mourão, da Eletrosul, setor de 230kV, arranjo com barras P (principal) e T (de transferência), houve nos últimos anos vários desligamentos de linha de transmissão simultâneos à manobra da chave seccionadora do bay de transferência, e atribuídos à ferro-ressonância do TPC da barra P. O oscilograma da Figura 8 mostra as três tensões fase-terra e as duas tensões fase-fase da barra P (e respectivos valores rms calculados no período) em ocorrência de desligamento indevido da LT Salto Osório 1 em 31.05.2003, por atuação de proteção de sobretensão. A manobra é a abertura da chave seccionadora de transferência, para retorno, à barra P, do circuito transferido. O relé de sobretensão é eletromecânico, ajustado em 1.32pu da tensão fase-fase V_{ab} ou V_{bc} , e instantâneo, significando que se a tensão V_{ab} ou V_{bc} alcançar (ou ultrapassar) o valor de *pickup* e durante 115ms (7 ciclos) não se verificar redução para 1.02pu (ou abaixo), por pelo menos 45ms, deverá haver

atuação. Embora, como ilustra o gráfico, o fenômeno de sobretensão não tenha sido sustentado, tendo iniciado a perturbação em torno dos 550ms, o valor rms de tensão esteve vários momentos bem acima do *pickup* do relé 59. O valor máximo medido foi $V_{ab}=215.77V_{rms}$ secundários, aos 974ms. Pelas características do relé e pelos valores da sobretensão alcançados (sobretensão de até $1.42 \times \text{pickup}$) foi considerado que a sobretensão medida causou a atuação da proteção.

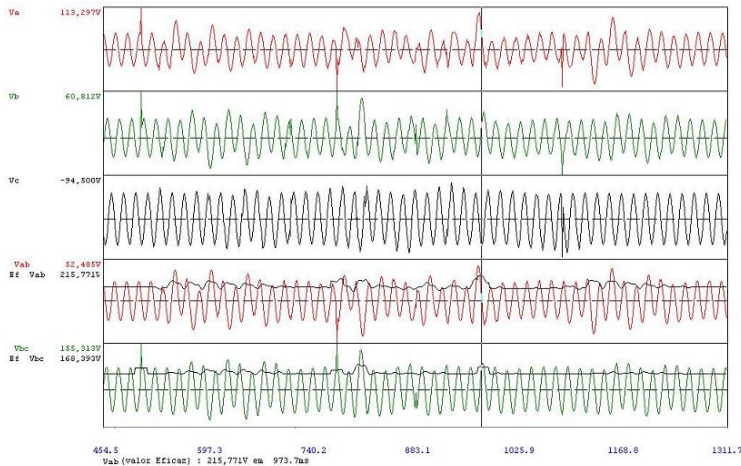


FIGURA 8: Oscilograma de tensão da barra P da SE C.Mourão na ocorrência de 31.05.2003. Tempo: 455 a 1312ms.

A Tabela 1 resume as ocorrências de desligamento de linhas de 230kV encontradas entre 1999 e 2004 na SE Campo Mourão, envolvendo atuação do relé 21 (por falta de potencial, em consequência da queima de fusíveis) e também atuação do relé 59 (por sobretensão).

TABELA 1: Ocorrências de desligamento de LT 230kV na SE Campo Mourão atribuídas à ferro-ressonância do TPC

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Relé 21 (falta de potencial)	-	-	1	1	-	-
Relé 59 (sobretensão)	1	-	-	3	2	-

4.2 Caso da SE Londrina

Na subestação Londrina, setor de 230 kV, foram verificadas inúmeras ocorrências de queima de fusíveis nos TPIs das barras P e PT (algumas vezes em ambos, no mesmo chaveamento). A queima de fusíveis possibilita atuação indevida de proteção de distância. Para avaliar as causas destas ocorrências foi realizado um estudo baseado em simulações digitais e oscilografia registrada em campo. Chegou-se à conclusão de que a circulação de altas correntes nos secundários dos TPs era devida ao paralelismo entre eles, verificado para uma configuração particular conforme ilustra o diagrama esquemático da Figura 9, e estava associada ao processo de extinção e reacendimento do arco elétrico no fechamento e na abertura da chave seccionadora de *by-pass*.

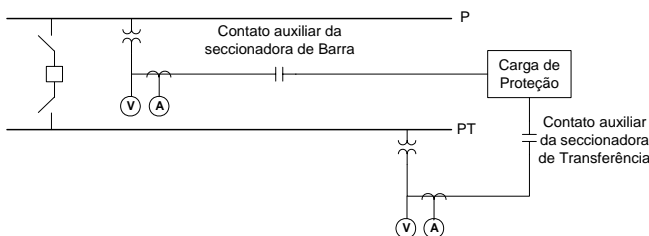


FIGURA 9: Esquema da seleção de potencial. Mostra-se a configuração de barramentos e contatos de seccionadora verificada em Londrina, na desenergização da barra PT pela abertura da seccionadora de *by-pass*, para executar a transferência de qualquer circuito para a barra P, nesta SE.

No esquema da Figura 9 os contatos da chave seccionadora de *by-pass* e de barra selecionam o potencial que será usado no circuito de proteção. No momento da transferência os dois contatos estão fechados e, portanto, os

dois TPs alimentam a mesma carga de proteção. Devido ao procedimento de manobra existente até recentemente, a barra PT era desenergizada para fazer a transferência de qualquer circuito. Isto evitava expor o operador a riscos, já que a seccionadora era manobrada localmente. Mas em consequência a barra P era submetida a transitórios de manobra como os vistos nas Figuras 10 e 11, e a configuração do circuito levava o TPI da barra PT a se comportar como uma carga para o TPI da barra P, proporcionando a circulação de altas correntes pelo lado de 66.4V entre eles. Na ocorrência analisada houve ruptura de fusível do TPI da fase A da barra P (aos 860ms), e dos TPIs das fases B (820ms) e C (600ms) da barra PT, todos fusíveis dimensionados para 6Arms. A Figura 12 mostra as correntes medidas no secundário dos TPIs da barra P. Estas correntes são drenadas pelas capacitâncias no lado de alta tensão do transformador de potencial da barra PT. Para solução do problema de circulação de altas correntes nos secundários dos TPIs e rompimento de fusíveis foi recomendada uma alteração nos procedimentos de manobra, de forma a que a transferência passe a ser efetuada sem desenergizar a barra PT. Isto foi possível com a motorização das chaves, possibilitando comandá-las remotamente.

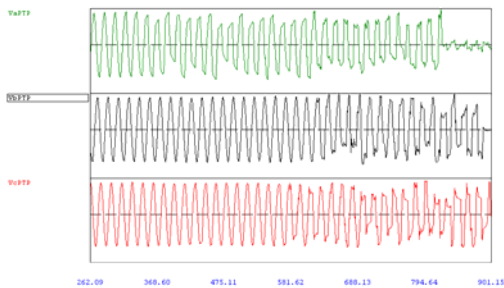


FIGURA10: Gráficos da tensão nos secundários dos TPIs da barra PT, durante a desenergização da barra pela seccionadora de *by-pass*, na SE Londrina. Escala de tempo de 262 a 901ms.

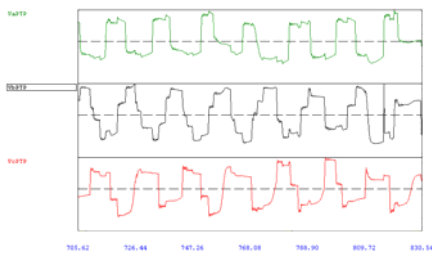


FIGURA11: Detalhe da Figura 10. Escala de tempo de 706 a 831ms.

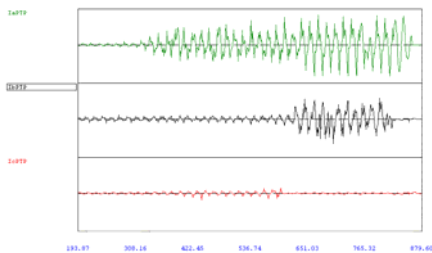


FIGURA 12: Correntes secundárias nos TPIs da barra P durante a desenergização da barra PT pela seccionadora de *by-pass*. Valor de regime=1,5Arms; máximo valor eficaz transitório=44 Arms. Escala de tempo de 194 a 880ms.

4.3 Casos simulados

Avaliados resultados qualitativos e quantitativos da modelagem, conforme itens 2 e 3, procuraram-se condições mais favoráveis para operação. No circuito há parâmetros que ao variar eliminam a ferro-ressonância, mas não podem ser controlados pelo usuário. Mas também há parâmetros operacionais, ou controláveis pela operação, com os quais o TPC atende suas funções nos circuitos. Foram simulados os seguintes casos:

- Em TPC sem o circuito amortecedor original (RL saturável ou RLC sintonizado) a ferro-ressonância seria sustentada, conforme simulação do curto-circuito secundário momentâneo.

- Adição de resistores aos secundários, com potência de 100 ou 200W, conseguiu reduzir a duração da perturbação ferro-ressonante para cerca de 100ms, na simulação do curto-circuito secundário. Com TPC completo, mas sem resistor adicional, a duração da perturbação poderia ser superior a 150ms.
- Quanto à potência dos resistores, 100 ou de 200W, não houve diferença significativa nos resultados de amortecimento das sobretensões nas simulações feitas. Em campo desempenho similar pôde ser observado em teste de manobra de seccionadoras, mas a duração máxima da perturbação alcançou 700ms.
- Adição do varistor VTR95K20 (com curva V-I conforme Tabela 2) proporcionou, no curto-circuito simulado, a maior redução na duração das sobretensões no TPC. Conseguiu reduzi-la a 50ms, isto é, à metade do verificado com o resistor de 100 ou 200W. Em campo, um teste em 01.06.2003, com varistor na saída Y2-Y3 do circuito de medição, mostrou a perturbação mais longa perdurando ainda por 350ms.
- Troca por TPC mais novo, com outro tipo de circuito amortecedor, com potência nominal menor (isto é, potência térmica de cerca de um terço da do TPC antigo) e acrescido dos resistores no secundário foi a alternativa posta em prática desde outubro de 2003 na SE Campo Mourão. Por um lado, com capacitância equivalente menor (dada por $C1 \cdot C2 / (C1 + C2)$), o circuito apresentaria constantes de tempo RC menores e transitórios de duração mais curta. Mas por outro, a tensão primária mais baixa no TP (dada por $C1 / (C1 + C2)$) poderia aumentar a corrente primária e a amplitude dos transitórios. Na simulação deste caso o fenômeno de ferro-ressonância também se mostrou dependente de parâmetros como cargas e características de saturação. Simulação com carga menor que a recomendada neste estudo mostrou possibilidade de ferro-ressonância sustentada, o que significa um ponto de equilíbrio estável com sobretensão, que é preocupante, e foi solicitada ao fabricante confirmação de alguns parâmetros do novo TPC.

TABELA 2: Característica V-I do Varistor VTR95K20

Corrente (A)	0.001	0.01	0.1	1.0	10.0	100.0	1000.0
Tensão (V)	160.	170.	185.	200.	230.	260.	320.

5.0 CONCLUSÃO

Foram apresentadas características do fenômeno de ferro-ressonância envolvendo transformadores de potencial e do fenômeno de arco em seccionadoras, bem como suas diferentes formas de manifestação em subestações de alta tensão. São fenômenos provenientes da interação do transformador de instrumento tradicional com equipamentos de manobra e com outros componentes do circuito, como capacitâncias. Um problema é a convivência com a ferro-ressonância em subestações convencionais, mas nas quais a permanência das sobretensões deve ser inferior a 7 ciclos, que é uma condição mais restritiva para duração de distúrbios do que o previsto em norma (3) e exigido na aquisição do equipamento (verificar amplitude do erro menor que 10% em até 10 ciclos, ou amortecimento da ferro-ressonância sustentada em até 2 segundos). A experiência mostra o risco de desligamentos indevidos na alta tensão, em consequência dos fenômenos.

Quanto à solução, mostraram-se as alternativas mais efetivas simuladas (sob teste de curto-circuito momentâneo na baixa tensão) e foi apresentado o comportamento em campo das alternativas testadas (sob teste de manobra de chaves seccionadoras na alta tensão). Em simulação a manobra de chave seccionadora apresentou perturbações de mais longa duração no secundário do TPC do que o curto-circuito momentâneo. Em campo só foi testada a manobra de seccionadora. Como são muitos os parâmetros de análise, o problema foi tratado caso-a-caso (isto é, por subestação).

Embora a vida útil esperada pela operação seja de vinte a trinta anos para os transformadores convencionais de instrumento, no caso particular dos TPCs, que dispõem de colunas capacitivas e de muitos acessórios, são requeridas atividades cuidadosas de manutenção seguindo os procedimentos preconizados e também é recomendado acompanhamento do desempenho do equipamento nas análises de ocorrências.

6.0 REFERÊNCIAS

- (1) V.C.Souares; V.Coelho; E.Futino; A.Duarte; J.Silva; M.Amaral; J.Danielski; R.Zirbes; J.Paini, "Manobra de Chaves Seccionadoras: Problemas em TPCs e Circuitos de Baixa Tensão", VII SEPOPE, Curitiba, 2000.
- (2) V.C.Souares; R.L.Moritz, "Sobretensões por Ferro-ressonância em Sistema de 230kV", Re/GSP/22, V SNPTEE, Grupo IV (GSP), Recife, 1979.
- (3) IEC Publication 186, "Voltage Transformers" (atualmente IEC 60044-5, "Capacitor Voltage Transformers").