



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

GCQ - 25
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

GRUPO XIII

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE ENERGIA (GCQ).

ANÁLISE DAS PRINCIPAIS CAUSAS DE ERROS EM CIRCUITOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL E SUAS CONSEQÜÊNCIAS PARA A LOCALIZAÇÃO DE FALTAS E PARA O DESEMPENHO DE PROTEÇÕES

Wanderson Mendes Alves*

**Clovis Edson Alves
Jeder Francisco de Oliveira**

**Maria Lucia Carvalho Gabino
Weber Melo de Souza**

CEMIG GERAÇÃO TRANSMISSÃO

RESUMO

Este trabalho apresenta casos reais ocorridos no sistema de transmissão da Cemig, onde oscilografias mostraram grandes diferenças entre valores de tensão medidos, durante curtos-circuitos, por diferentes transformadores de potencial (TPs) instalados numa mesma barra de operação. Mostra também a análise das principais causas dessas diferenças. São discutidas suas conseqüências para a localização de faltas e para o desempenho das proteções, bem como as medidas para detectar, contornar ou eliminar tais erros.

PALAVRAS-CHAVE

Erros de medição, transformador de potencial, localização de faltas, desempenho de proteções.

1.0 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os sistemas de transmissão têm passado por expressivas mudanças, tanto do ponto de vista de legislação, quanto de operação. Atualmente os sistemas de transmissão não têm mais tanta flexibilidade operativa e operam próximo do seu limite de segurança. Aliado a isso, a nova regulamentação do setor elétrico prevê punições severas às empresas causadoras ou propagadoras de distúrbios.

Nesse novo contexto, a análise de ocorrências passa a ter papel de suma importância na determinação das causas, origens, tempos de duração e na localização das perturbações. Para isso, torna-se necessária a instalação e integração de oscilógrafos através de redes de oscilografias.

Com a implantação dessas redes de oscilografias, alguns fenômenos que passavam desapercibidos durante o processo de análise de ocorrências, hoje podem ser verificados e analisados minuciosamente. Nas unidades de análise numérica das redes atuais também são disponibilizadas ferramentas como a análise espectral, a decomposição de fasores em componentes simétricas e as somas vetoriais de fasores que, dentre outras, facilitam a análise dos eventos e detecção de anormalidades nas medições registradas.

Todo sistema é susceptível a erros. Abaixo mostraremos dois tipos que podem ocorrer em circuito secundário de TP: *“Deslocamento de neutro no circuito secundário do TP”* e *“Neutro do circuito secundário do TP aberto”*.

* Av. Barbacena, 1200 – 13º andar Ala B1 – Santo Agostinho - CEP 30123-970 – Belo Horizonte - MG - Brasil
Tel.: (031) 3299-2277 - Fax: (031) 3299-3956 - e-mail: wmalves@cemig.com.br

2.0 APRESENTAÇÃO DOS ERROS

2.1 Deslocamento de neutro no circuito secundário do TP – Duplo aterramento

Entre os erros provenientes da medição de tensão, o de maior impacto é o deslocamento de neutro do circuito secundário do TP.

Quando da ocorrência de curto-circuito desequilibrado envolvendo a terra em um equipamento (Linha de Transmissão, Transformador, Barra, etc) de uma instalação, a malha de terra dessa instalação será percorrida por corrente de seqüência zero ($3I_0$), que será tanto maior quanto mais próxima à instalação ocorrer a falha.

A Figura abaixo mostra simbolicamente o circuito secundário de um TP aterrado indevidamente no pátio e na casa de controle. A Figura 2 mostra em detalhe o duplo aterramento do condutor neutro.

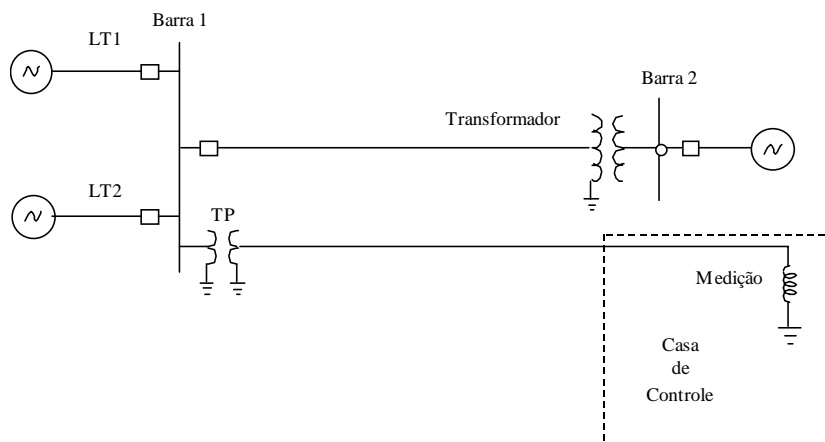


FIGURA 1 – Diagrama Unifilar Simplificado de uma instalação.

Se o secundário de um TP estiver aterrado na fonte e na carga e uma corrente de curto-circuito (I_{cc}) percorrer a malha de terra entre os pontos “d” e “e” da Figura 2, surgirá uma tensão (V_{ed}) que será proporcional ao produto da impedância entre esses pontos e a corrente que percorre a malha, provocando o deslocamento do neutro para a medição.

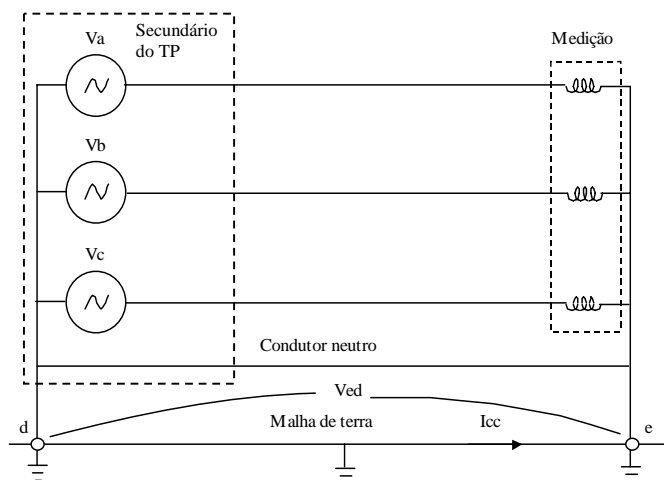


FIGURA 2 – Secundário de um TP aterrado na fonte e na carga – Diagrama Trifilar

Esse efeito é bastante conhecido, porém muitas vezes não observado no sistema de potência. A escassez de oscilografias nas instalações das concessionárias dificultava uma análise mais detalhada das medições. Hoje, com a instalação de redes de oscilografias e de unidades de análise numérica, as medidas registradas podem ser verificadas e analisadas minuciosamente.

No projeto de uma Instalação (Subestação, Usina, Indústria) normalmente se solicita o aterramento do neutro em apenas um ponto nos circuitos secundários de TPs e TCs, no entanto, por erro de projeto, construção ou revisões posteriores, acaba-se por aterrá-los em mais de um ponto.

2.1.1 Análise de um caso real

A seguir são apresentados o Diagrama Unifilar da Subestação Barbacena 2¹, as oscilografias durante um curto-circuito em uma Linha de 138kV dessa subestação, as componentes simétricas referentes às medições oscilografadas, uma simulação em programa de curto-circuito para comparação com os valores oscilografados e, ao final, uma análise resumida do *efeito de deslocamento* observado no caso analisado.

Caso analisado:

Monitoramento de tensão da Barra nº 1 de 345kV da subestação Barbacena 2 pelos TPs das linhas de transmissão para Juiz de Fora 1 e Pimenta, durante curto-circuito bifásico à terra na LT1 138kV para Santos Dumont.

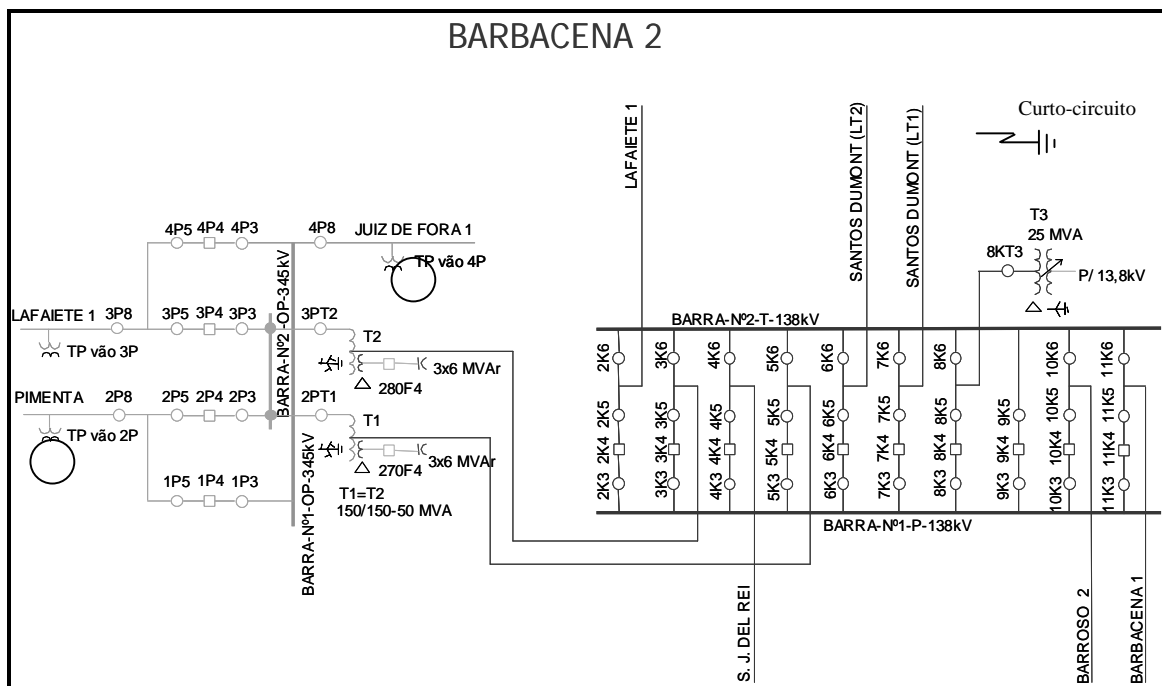


FIGURA 3 - Diagrama unifilar da SE Barbacena 2

¹ Subestação Transmissora em 345kV do Sistema CEMIG.

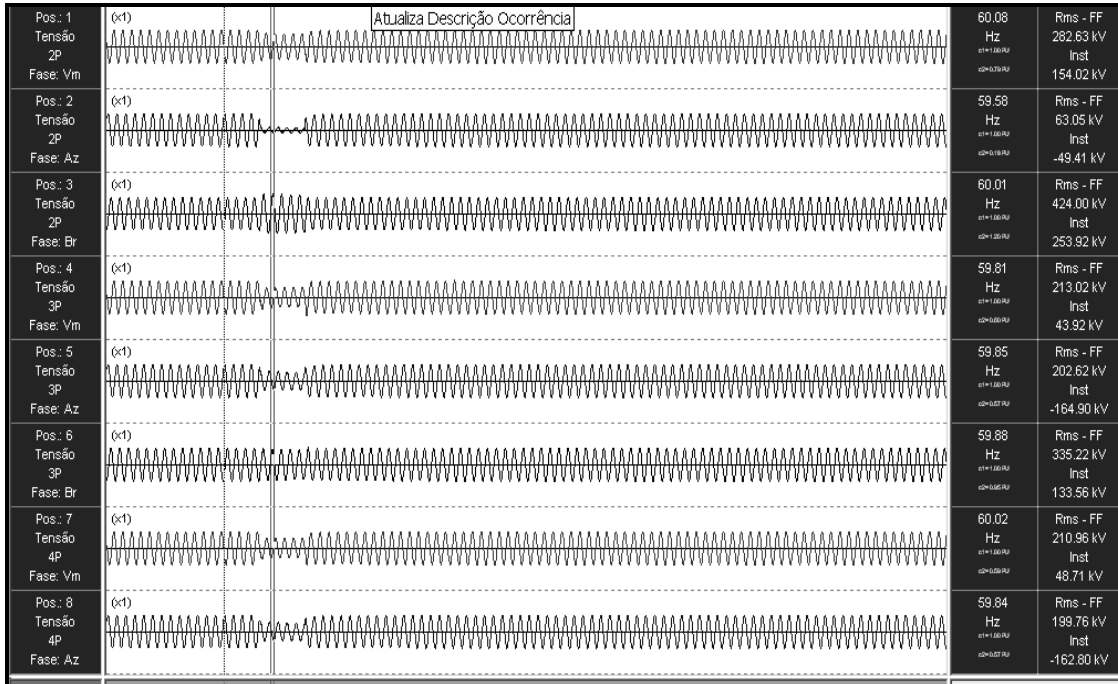


FIGURA 4 – Subestação Barbacena 2 – Curto-circuito fases vm, az e terra da LT 138kV para Santos Dumont provocando deslocamento de neutro no circuito 2P – LT 345kV para Pimenta.

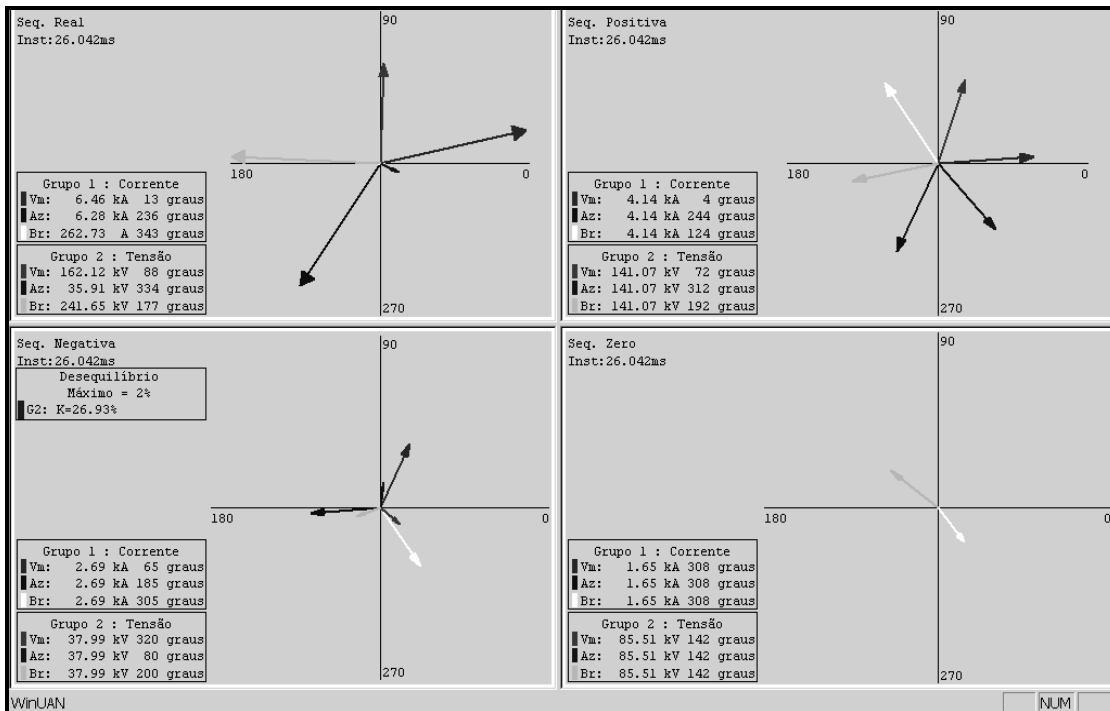


FIGURA 5 - Componentes simétricas – verificação do efeito da corrente de neutro do 138kV no circuito secundário do TP do vão 2P- LT 345kV para Pimenta.

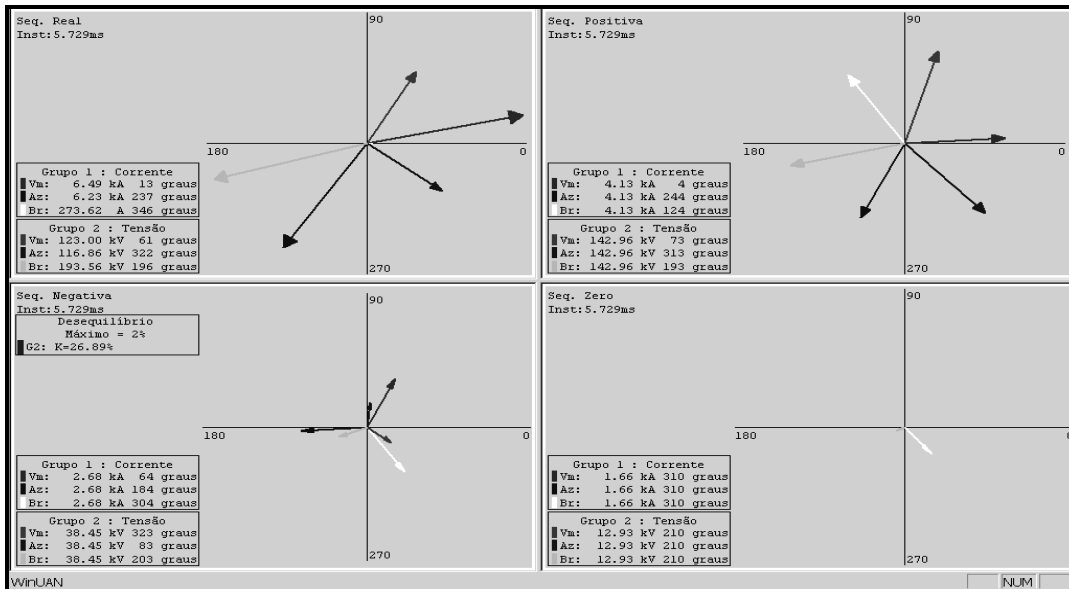


FIGURA 6 - Componentes Simétricas – corrente de neutro do 138kV não impacta o circuito secundário do TP do vão 4P- LT 345kV para Juiz de Fora.

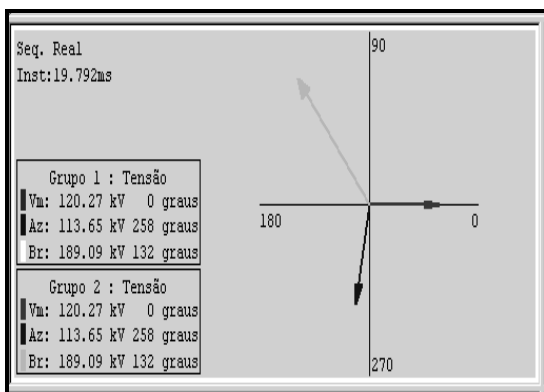


FIGURA 7 - Vão 4p – Componente de Seqüência Real.

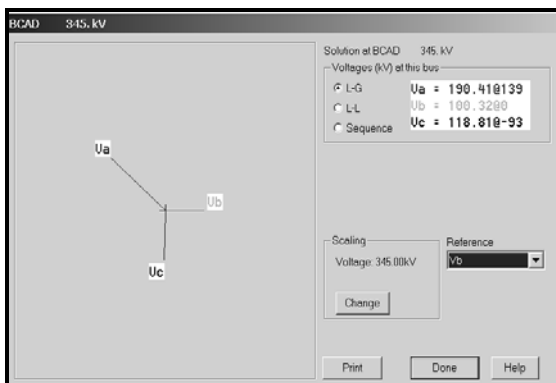


FIGURA 8 – Vão 4P (LT para Juiz de Fora 1) Simulação no programa de curto-circuito Aspen® para curto-circuito similar na LT 138kV.

Podemos verificar, pela oscilografia da Figura 4, que todas as tensões do vão 2P sofrem alterações de amplitude em relação aos demais vãos de 345kV. Pela análise das componentes simétricas da Figura 6, podemos perceber que o vão 4P possui um valor pequeno de componente de seqüência zero no circuito de tensão (normal para um curto-circuito com as características daquele). Já na Figura 5 (vão 2P) o valor de componente de tensão de seqüência zero é elevado. Verificando, pela Figura 9, a diferença fasorial entre os valores de tensão de seqüência zero do vão 2P (V_{2P}) e vão 4P (V_{4P}), percebemos que a resultante (V_r) está praticamente em oposição de fase (180 graus) com a corrente de seqüência zero da LT138kV sob falta (I_{cc}), indicando que existe uma componente de tensão no neutro do circuito secundário do TP causada pela circulação de I_{cc} na malha de aterramento.

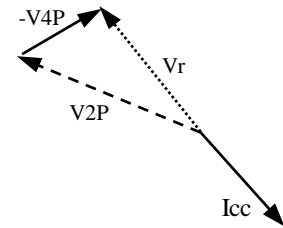


FIGURA 9 – Circuito de seqüência Zero.

2.2 Neutro do circuito secundário do TP aberto

Se as cargas do secundário do TP forem equilibradas (nas Instalações da Transmissão da Cemig geralmente são), o circuito funcionará como um filtro que impede a observação da componente de seqüência zero da medição de tensão, pois não existirá circulação de corrente de seqüência zero no circuito e conseqüentemente não haverá tensões relacionadas a essas correntes.

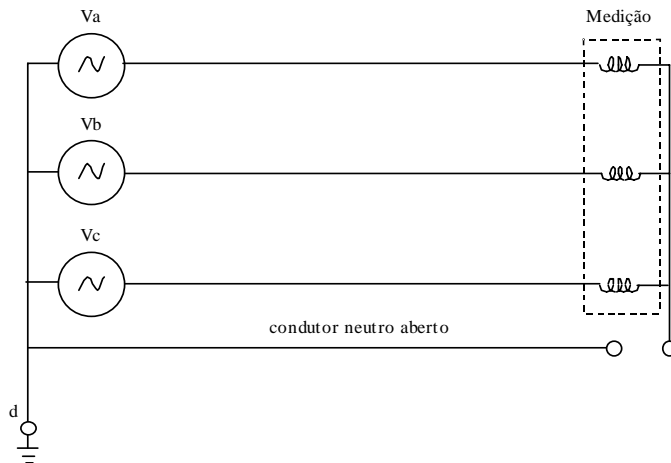


FIGURA 10 – Neutro do Secundário de um TP aberto – Filtro de seqüência zero para a medição.

Esse tipo de circuito filtra apenas a seqüência zero permanecendo as demais inalteradas. Assim, esse erro (efeito de filtragem) só será observado quando ocorrer curto-circuito envolvendo a terra.

A Figura abaixo foi extraída de uma oscilografia durante um curto-circuito fase azul-terra no sistema de 500kV da Cemig. O grupo 1 mostra os valores de tensão medidos por um TP de uma barra de 500kV (valores supostamente corretos) e o grupo 2 mostra os valores medidos por outro TP na mesma barra, onde podemos observar a filtragem da componente de tensão de seqüência zero, permanecendo normais as demais componentes de seqüência desse grupo.

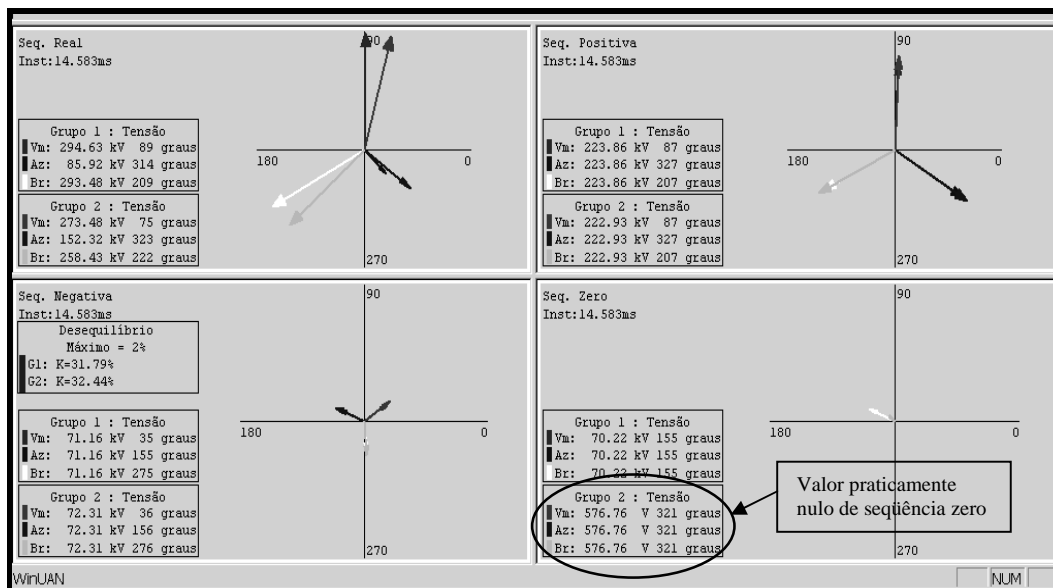


FIGURA 11 - Componentes simétricas – Verificação do efeito de neutro aberto.

Caso as cargas do secundário do TP não forem equilibradas, componente de seqüência zero será verificada na medição de tensão em praticamente todos os casos de curtos-circuitos desequilibrados, sendo sua amplitude proporcional ao desequilíbrio das cargas e do curto. Neste caso o circuito funciona como um gerador de seqüência zero, assim, o efeito de filtragem descrito anteriormente não será observado, porém, durante curto-circuito bifásico puro (sem envolvimento de terra), será observada indevidamente componente de seqüência zero na medição de tensão.

3.0 DETECÇÃO DE PROBLEMAS NA MEDIÇÃO

A detecção de neutro aberto é a mais simples de todas as falhas: se as cargas do circuito secundário do TP forem equilibradas e durante curto-circuito desequilibrado envolvendo a terra for verificado ausência de componente de seqüência zero na medição de tensão, esse fato é suficiente para concluir que o neutro está com má conexão em algum ponto ou aberto.

Os filtros descritos abaixo são utilizados somente para verificar se há ou não erros na medição, sem identificar qual é o tipo de erro. O primeiro pode ser utilizados para detectar qualquer tipo de erro na medição de tensão, já o segundo deve ser utilizado supondo-se que o circuito de seqüência positiva, que é imune às falhas apresentadas aqui, está correto. Devemos observar também que falhas no circuito de seqüência positiva são facilmente detectadas nas medições de pré-falta, onde praticamente só existirá seqüência positiva.

3.1 Filtro primário

Um método simples e rápido para detectar anormalidades na medição é a determinação de uma faixa para os possíveis valores angulares das impedâncias de seqüência calculadas através das medições de corrente e tensão disponíveis no vão sob falta. Caso o valor do ângulo calculado esteja fora dessa faixa: a medição possui erros; caso contrário: a medição pode estar correta, porém são necessários outros testes para confirmação.

Considerando-se a característica resistiva-indutiva dos Sistemas de Transmissão, pode-se definir uma faixa de 0 a 90 graus para a maioria deles, porém isso limitaria a capacidade de sucesso do filtro. Para aumentar a possibilidade de sucesso deve-se diminuir a faixa (quanto menor a faixa melhor o filtro), estudando e definindo os limites da faixa possíveis para o Sistema ou Barra em observação.

3.2 Filtro secundário

Alguns erros podem não ser detectados pelo filtro primário, assim torna-se necessário aplicação de testes mais completos.

Com o auxílio dos dados de um localizador de faltas (ponto e resistência da falta) que utilize somente componentes de seqüência positiva, pode-se calcular os valores de tensão de seqüência zero da barra para validação dos valores medidos.

Um outro método que pode ser utilizado é a validação dos valores medidos através de simulações em programas de cálculo de curto-circuito.

Para utilização dos filtros acima, presume-se que as medições de corrente, que são menos vulneráveis a falhas no aterramento, estejam corretas.

Para facilitar a localização e correção da falha no circuito do TP, deve-se sempre que possível identificar que tipo de falha está ocorrendo. A identificação de neutro aberto é simples, conforme foi descrito acima. Já a identificação de duplo aterramento é mais complexa, mas geralmente se verifica que a diferença fasorial entre a medição de seqüência zero com erro e uma medição correta tende a se alinhar ou opor à corrente de seqüência zero da LT sob falta, conforme Figura 9.

4.0 IMPACTOS NA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS E NO DESEMPENHO DAS PROTEÇÕES

Para curto-circuito que envolva a terra, os algoritmos de localização de faltas e os sistemas de proteção que utilizem componentes de seqüência zero em sua filosofia certamente sofrerão influências das falhas apresentadas neste trabalho. Salvo os localizadores de falta que utilizam somente componente de seqüência positiva ou negativa, os demais indicarão o ponto da falta diferente do ponto real; já os sistemas de proteção podem recusar a operação ou operarem indevidamente².

Na Cemig, temos históricos de recusas de operação de relés 67N (utiliza polarização por tensão de seqüência zero) devido falha (neutro aberto) no circuito secundário do TP da Linha.

Uma alternativa para contornar esses problemas é a utilização de algoritmos ou sistemas baseados apenas em componentes de seqüência negativa ou positiva.

5.0 CONCLUSÕES

Muitas vezes a exatidão dos sistemas de transdução de tensão (TPs e seus circuitos) é apoiada apenas nos erros clássicos dos TPs em condições normais de operação, porém para a composição da exatidão deve-se considerar as influências de cada componente do conjunto (TPs, circuitos primário e secundário, cabos, conexões e vizinhanças eletromagnéticas) e essa exatidão somente será efetiva se os componentes apresentarem fidelidade compatível com as especificações ou finalidades para as quais foram projetados. Esse fato tem implicação direta na localização de faltas em linhas de transmissão e também no desempenho das proteções ou em qualquer outro sistema que utilize amostra de potencial em sua filosofia.

No que tange a qualidade da energia, recusas ou atuações indevidas de proteções são sempre danosas, pois causam: desligamentos de consumidores; extensão do tempo de eliminação de falta, levando ao desligamento de plantas industriais por subtensão prolongada e dependendo da topologia do Sistema essas falhas podem levá-lo a um blecaute.

Vimos neste trabalho o quão sensível é a tensão de seqüência zero a falhas no aterramento e no neutro do circuito secundário dos TPs. Assim, tanto para a localização de faltas quanto para os sistemas de proteção devem ser utilizados preferencialmente algoritmos baseados em tensões de seqüência positiva ou negativa, pois são imunes às falhas apresentadas aqui.

Este trabalho introduz o assunto, podendo ser realizados posteriormente estudos para ampliação dos métodos de indicação e solução de falhas.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) D'AJUZ, Ary et al. Equipamentos Elétricos: *especificação e aplicação em subestações de alta tensão*. Rio de Janeiro: Furnas. 1985.
- (2) CLOSE, Charles M. *The Analysis of Linear Circuits*. New York: Harcourt Brace World (v.2). 1966.
- (3) WARRINGTON, A. R. Van Cortlandt. *Protective Relays: Their theory and practice*. New York: John Wiley & Sons (v.2). 1969.
- (4) CLARKE, Edith. *Circuit Analysis of A-C Power Systems*. Third printing New York: John Wiley & Sons. Sep, 1960.
- (5) KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Maria. *Aterramento Elétrico*. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto. 1995.
- (6) GLOVER, J. Duncan; SARMA Mulukutla. *Power System Analysis and Design - With Personal Computer Applications*. Boston: 1st edition, PWS Publishing Company. 1987.
- (7) STAGG Glenn W.; EL-ABIAD Ahmed H. *Computação Aplicada a Sistemas de Transmissão de Potência*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois. 1979.

² Operação do relé para faltas em componentes externos à sua zona de proteção.