



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

GSE 12
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO VIII

GRUPO VIII - GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS- GSE

- METODOLOGIA DE MEDIÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO EM CAMPO ATRAVÉS DO LEVANTAMENTO DO ESPECTRO EMITIDO

Hédio Tatizawa *
Kleiber Tadeu Soletto
**IEE/USP - Instituto de Eletrotécnica
e Energia da USP**

Wilson Roberto Bacega
**CTEEP – Cia de Transmissão de Energia
Elétrica Paulista**

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados de pesquisa efetuada visando o desenvolvimento de procedimento para a detecção de descargas parciais em equipamentos de alta tensão, através do levantamento do espectro (eletromagnético) emitido pelas descargas parciais. A técnica estudada caracteriza-se por ser não invasiva, e sem a necessidade de desligamento do equipamento do sistema, e realizada através de antenas posicionadas nas proximidades do equipamento, ou através da utilização de transformador de corrente para altas frequências, instalado no condutor de aterramento do equipamento.

O sinal eletromagnético, fornecido pelas antenas ou pelo transformador de corrente de alta frequência, é captado por aparelho analisador de espectro, obtendo-se dessa forma o perfil do espectro emitido pela descarga parcial, caracterizando portanto o sinal das descargas parciais no domínio da frequência.

A pesquisa foi realizada inicialmente em amostras de placas isolantes submetidas a alta tensão, e posteriormente aplicada em ensaios em equipamento de alta tensão. Esses ensaios laboratoriais permitiram o levantamento de perfis típicos do espectro emitido pelas descargas, bem como o perfil de interferências (ou ruídos) eletromagnéticas presentes no ambiente das medições. O estudo desses perfis típicos permite a caracterização das descargas parciais bem como dos tipos mais comuns de interferências.

Os resultados obtidos nesses ensaios realizados em laboratório foram muito positivos, e demonstraram que a metodologia objeto deste estudo apresenta sensibilidade e viabilidade necessária para a discriminação de equipamentos apresentando descargas parciais. Adicionalmente, o problema de interferências eletromagnéticas durante a medição das descargas parciais, que é um problema recorrente nesse tipo de medição, é contornado de forma muito simplificada nessa nova técnica, se comparada com outras técnicas.

Foram realizados adicionalmente, os primeiros ensaios em campo, em subestações, com a utilização dessa técnica, os quais indicaram resultados bastante positivos.

A metodologia utilizada apresenta caráter inovador frente aos procedimentos usualmente praticados na atualidade, e permite a medição sem a necessidade do desligamento do equipamento, dentre outras vantagens.

PALAVRAS-CHAVE

medição de descargas parciais, subestações, IEC60.270

1.0 - INTRODUÇÃO

Os efeitos comumente observados na ocorrência das descargas parciais podem ser:

- acústicos, manifestados por sons audíveis ou não;
- através da geração do campo eletromagnético;
- através da ocorrência de reações químicas;

- de ordem térmica, pela formação de pontos de aquecimento, podendo provocar o aumento da pressão de gases;
- de ordem elétrica provocando o aumento de perdas dielétricas e pela geração de descargas na forma de pulsos de correntes.

Descargas parciais ocorrem normalmente em pequenas cavidades no interior do material dielétrico. Nesse processo, elétrons são arrancados de átomos, acelerados pelo campo elétrico durante um curto período, e retornam ao estado inicial. A aceleração de cargas elétricas gera ondas eletromagnéticas em todas as direções, a partir da cavidade onde ocorre a descarga parcial. O método de detecção de descargas parciais proposto nesta pesquisa baseia-se na detecção do espectro eletromagnético produzido nessa situação. Os pulsos gerados por descargas parciais apresentam energia espectral até a faixa de UHF (300 a 3.000 MHz) [1]. Dessa forma, as descargas parciais podem ser detectadas numa ampla faixa de frequências, desde frequências muito baixas até a faixa de UHF.

Nesta pesquisa, o sinal eletromagnético emitido pelas descargas parciais foi captado por meio de antenas, ou de transformadores de corrente (TC) de alta frequência aplicados no condutor de aterramento do objeto sob teste, e medido através de um analisador de espectro.

2.0 - TESTES EXPLORATÓRIOS EM PLACAS ISOLANTES.

Com a finalidade de se realizar ensaios exploratórios para a avaliação dessa técnica, foram inicialmente confeccionadas amostras constituídas por placas isolantes contendo pequena cavidade produzida intencionalmente, em seu interior. Foram utilizadas placas quadradas planas de poliéster, com dimensões aproximadas de 15 cm de lado e espessura de 6 mm. Essas amostras foram posicionadas entre dois eletrodos de latão tipo ASTM [2], com 1" de diâmetro, imersas em óleo isolante, sendo aplicada alta tensão ao eletrodo superior, aterrando-se o eletrodo inferior. No eletrodo inferior foi instalado um TC de alta frequência, que foi conectado ao analisador de espectro. A Fig. 1 mostra a montagem utilizada.

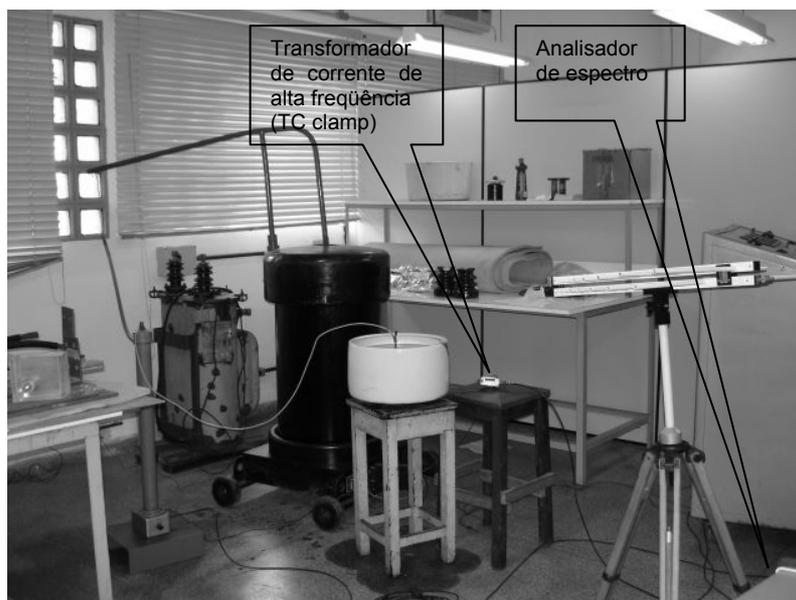


Figura 1 – Montagem utilizada no ensaio, mostrando a fonte de alta tensão, TC de alta frequência e analisador de espectro.

A Fig. 2 mostra a saída do analisador de espectro, com o espectro do ruído de fundo do laboratório, obtida aplicando-se a tensão de 20kV em placa isolante, sem a presença de cavidade artificial (e sem a ocorrência de descargas parciais).

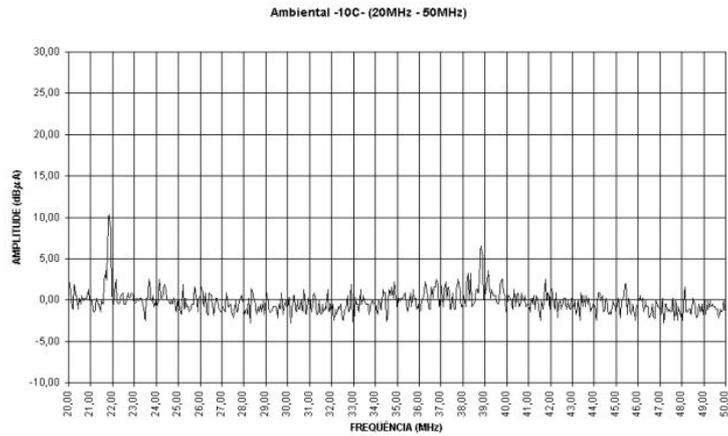


Figura 2 – Placa isolante (sem cavidade artificial) submetida a 20kV – espectro eletromagnético levantado utilizando-se TC de alta frequência aplicado ao condutor de aterramento, faixa de frequências 20MHz - 50MHz.

Os pulsos de corrente de alta frequência causados pelas descargas parciais que ocorrem no interior da cavidade, quando da aplicação de alta tensão, foram detectados por um TC de alta frequência instalado no condutor de aterramento. O enrolamento secundário do TC foi conectado a um analisador de espectro. A Fig. 3 mostra o espectro obtido em amostra isolante (contendo cavidade artificial) e apresentando descargas parciais (conforme medição efetuada com o procedimento convencional, baseado na IEC 60.270), na tensão de 30kV.

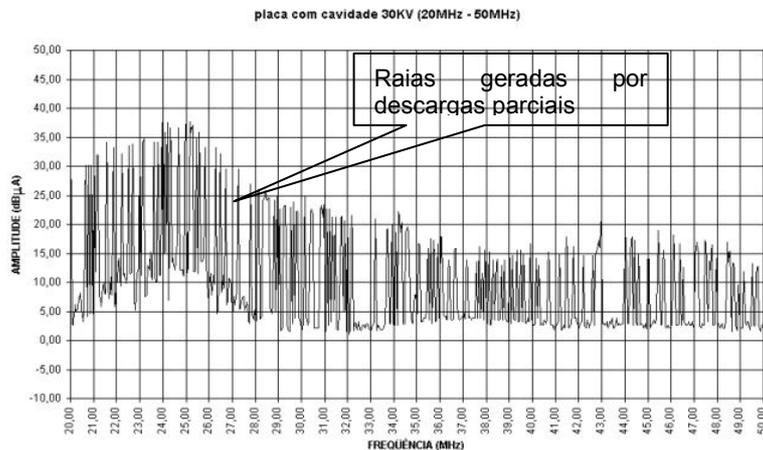


Figura 3 – Espectro gerado por descarga parcial gerada em placa isolante (contendo cavidade) submetida a 30 kV. Medição utilizando-se TC de alta frequência aplicado ao condutor de aterramento, faixa de frequências 20MHz - 50MHz. (obs: comparar com Fig. 2)

O espectro apresentado na Figura 3, reconhecível facilmente por inspeção visual, é característico da ocorrência de descargas parciais, conforme se constatou nas medições adicionais efetuadas. Observa-se que esse padrão característico, com raias finas e bem definidas, agrupadas, com espaçamento quase uniforme, constitui-se em resultado que não é muito comum, característico de apenas determinados tipos de eventos, sendo por exemplo completamente diferente daqueles atribuídos aos sinais originados por estações de radiodifusão.

3.0 - ENSAIOS LABORATORIAIS EM TRANSFORMADORES DE CORRENTE, DE ALTA TENSÃO.

A técnica proposta nesta pesquisa foi aplicada a um transformador de corrente classe 460kV, apresentando histórico conhecido de presença de descargas parciais, determinado através de ensaios convencionais de descargas parciais baseados na norma IEC60.270.

O levantamento do espectro foi realizado instalando-se o TC de alta frequência no condutor de aterramento do equipamento. O ensaio foi realizado aplicando-se inicialmente a tensão de 292kV, abaixo da tensão de início de descargas parciais, e em seguida aplicou-se uma tensão de prestress de 360kV, durante 10 segundos, sendo

observada a presença das raias características de descargas parciais. A seguir reduziu-se a tensão para 292kV, sendo observada a permanências dessas raias. Para confirmação da ocorrência de descargas parciais, foi realizada medição conforme o procedimento convencional, baseado na IEC 60.270.

A Figura 4 mostra o espectro obtido após a aplicação de prestress de 360kV e redução da tensão de ensaio para 292kV, sendo observada a permanência das raias características de descargas parciais.

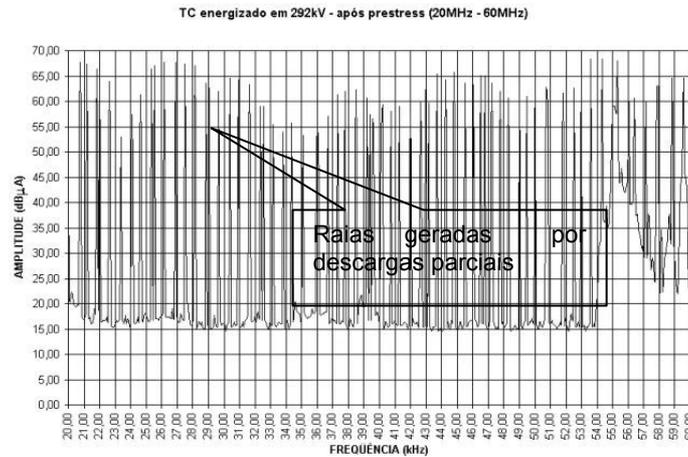


Figura 4 — TC energizado na tensão de 292kV, após sofrer prestress na tensão de 360kV. Faixa de frequências de 20MHz a 60MHz – observa-se a presença de descargas parciais.

Adicionalmente, foi realizada a medição através do espectro emitido, em TC classe 345kV, também com prévio histórico de descargas parciais, onde foram obtidos resultados similares. Medições em TC classe 15kV, com isolamento em epóxi e apresentando descargas parciais, também levaram a resultados semelhantes.

4.0 - MEDIÇÕES EM CAMPO EM TRANSFORMADOR DE CORRENTE.

Com a finalidade de se avaliar sob condições de campo, a viabilidade da aplicação deste método de detecção de descargas parciais, foram realizadas medições em Subestação da CTEEP, de 230kV. Essa subestação foi escolhida por apresentar equipamento com suspeita de presença de descargas parciais. O Transformador de Corrente escolhido, com tensão nominal de 345kV porém operando em 230kV, instalado na fase Vermelha dessa subestação, apresentou histórico de presença de elevados níveis de gases dissolvidos no óleo isolante nos ensaios cromatográficos, constituindo-se em indicativo da ocorrência de descargas parciais.

A Figura 5 mostra vista da subestação onde está instalado o TC com suspeita de descargas parciais, submetido ao ensaio (mostrado em primeiro plano, à direita).



Figura 5 -Vista da Subestação – 230kV, com o TC submetido ao ensaio mostrado em primeiro plano, à direita.

Para a realização das medições, o equipamento encontrava-se energizado, sob carga e em funcionamento normal. Foi utilizado o TC de alta frequência instalado no condutor de aterramento do equipamento, para a detecção de descargas parciais.

Foi realizada uma varredura ao longo da faixa de operação do analisador de espectro, buscando-se os padrões característicos de descargas parciais, já conhecidos e identificados nos ensaios em laboratório em amostras do tipo placa isolante e em transformadores de corrente. Foram identificados padrões característicos de descargas parciais, na faixa de frequências de 300kHz a 400kHz. A Figura 6 mostra tela do analisador de espectro com o resultado das medições, apresentando o padrão característico de descargas parciais.

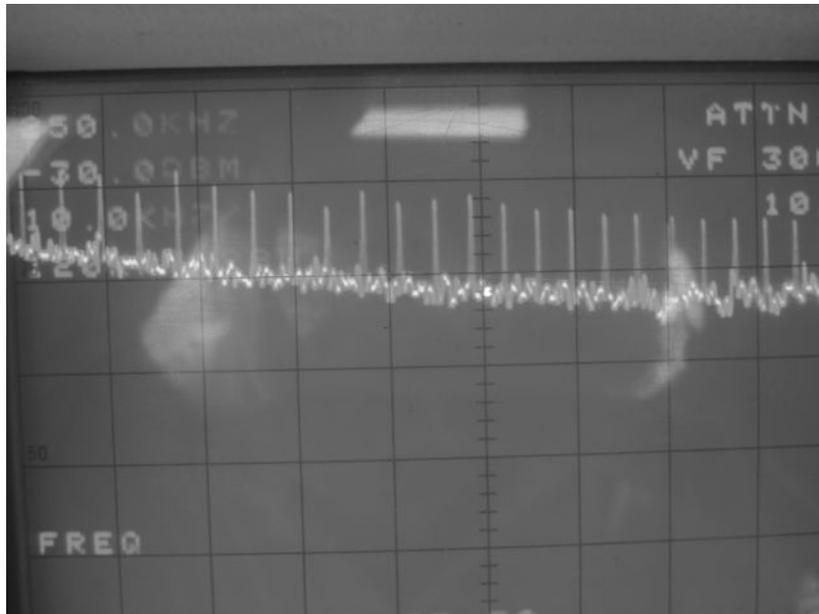


Figura 6 – Espectro obtido no cabo de aterramento do transformador de corrente – faixa de frequências de 300kHz a 400kHz (tela do analisador de espectro). Medições com o TC clamp.

5.0 - CONCLUSÃO

Os ensaios de detecção de descargas parciais através do levantamento do espectro emitido realizados utilizando-se nas medições o TC de alta frequência, associado ao aparelho analisador de espectro, permitiram realizar a verificação da presença de descargas parciais nas amostras em placa de forma bastante clara, mesmo na presença de interferências eletromagnéticas presentes no laboratório. Nos ensaios em laboratório de alta tensão, realizados em Transformadores de Corrente (tensões nominais de 15kV, 345kV e 460kV), igualmente foram obtidos resultados bastante positivos, verificando-se ser possível a realização de medições sob condições de boa relação sinal/ruído, através da seleção da faixa de frequência de trabalho mais favorável, e sem submeter a instrumentação ao potencial (alta tensão), nas medições com o TC acoplado ao cabo de aterramento. Essas características são importantes, particularmente em medições realizadas em campo, por permitir a realização sem a necessidade do desligamento do equipamento para instalação de sensores. O aperfeiçoamento desse método na detecção de descargas parciais em equipamentos, e em ambientes típicos de subestações, representaria um avanço muito grande nas técnicas diagnósticas.

As primeiras medições realizadas em campo mostraram que a técnica é viável, com grandes possibilidades de serem aperfeiçoadas. No levantamento do espectro emitido realizado num transformador de corrente com tensão nominal de 345kV (operando em 230kV), apresentando alto nível de acetileno nos ensaios cromatográficos de gases dissolvidos no óleo isolante, também indicaram espectro característico semelhante ao de descargas parciais, caracterizadas nos ensaios em laboratório. Futuramente, espera-se que com o aumento da experiência com a utilização dessa técnica seja possível alcançar um maior aperfeiçoamento na interpretação nas medições, tendo em vista a grande quantidade de fontes de interferências. Dentre essas fontes de interferências destacam-se o corona e interferência geradas por circuitos eletrônicos, interferências muito comuns em subestações, esta última causada por equipamentos eletrônicos contendo fontes chaveadas e circuitos geradores de sinais do tipo “clock” (principalmente relés eletrônicos da proteção digital, controladores e microcomputadores), os quais podem gerar espectro de sinais que podem ser confundidos com descargas parciais.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Judd MD, Yang L, Hunter IBB, Partial discharge monitoring for power transformers using UHF sensors Part I: Sensors and Signal interpretation. IEEE Electrical Insulation Magazine, vol 21, n2, 2005.
- (2) American Standard for Testing Materials, ASTM D 149, 1982.
- (3) Tatizawa H, Soletto K, Bacega W.R. et al. Desenvolvimento de ensaios aplicáveis a transformadores para instrumentos – CTEEP/IEEUSP, São Paulo, nota técnica., 2006.
- (4) Bartnikas R, McMahon EJ (editors), Engineering Dielectrics Vol.I, Corona measurement and interpretation, ASTM STP 669, 1979.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Hélio Tatizawa.

Nascido em Álvares Machado, SP, em 22 de maio de 1958.

Doutorado (2001), Mestrado (1994) e Graduação (1984) em Engenharia Elétrica: EPUSP – São Paulo.

Empresa: Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, desde 1985.

Professor do IEEUSP, junto ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia - PIPGE/USP.

Wilson Roberto Bacega.

Nascido em São Paulo, SP, em 10 de setembro de 1960.

Especialização em Engenharia de Manutenção de Subestações (1992) na UFSC e Graduação em Engenharia Elétrica: Universidade Mackenzie-São Paulo.

Empresa: Cia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista – CTEEP, desde 1986 (Eletropaulo).

Engenheiro da Divisão de Gestão da Manutenção da CTEEP.

Kleiber Tadeu Soletto.

Nascido em São Paulo, SP, em 13 de novembro de 1965.

Doutorado (2004) e Mestrado (1998) pela EPUSP e Graduação (1988) em Engenharia Eletrônica: Faculdade de Engenharia Industrial FEI – São Bernardo do Campo.

Empresa: Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, desde 1989.

Chefe da Seção Técnica de Compatibilidade Eletromagnética do IEEUSP.