



XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CB/GTM/04

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - 13
GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES –
GTM

LIMITADOR DE VFTO PARA TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

PABLO M. MIGUEL (*) JOSÉ ARINOS TEIXEIRA JR. MÁRCIO ROT SANS CELSO LUIZ DE LIMA MARTINS
TGDELTA LACTEC - INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O
ENG. CONS. LTDA DESENVOLVIMENTO - PR

RESUMO

As manobras em subestações isoladas a SF6 (GIS) provocam o aparecimento de sobretensões extremamente rápidas. Essas sobretensões são conhecidas pela sigla VFTO (Very Fast Transient Overvoltage). Uma VFTO aparece devido às sucessivas reflexões dentro da GIS, que devido às curtas distâncias acabam gerando componentes com frequências elevadas, tipicamente na faixa de 10 a 100 MHz.

Através de uma modelagem detalhada do transformador, adequada à presença de componentes de alta frequência, se localizam os pontos de maior solicitação no isolamento. Uma das constatações interessantes vem a ser a transferência dos efeitos da VFTO para o enrolamento secundário de transformadores, onde o envelhecimento provocado pelo efeito cumulativo da VFTO pode ser um fator predominante no modo de falha.

Uma vez quantificada e localizada a solicitação imposta pelas VFTO, se passa então à tarefa de limita-las. Para tanto, um dispositivo é instalado na entrada do enrolamento do transformador, com o objetivo de rejeitar as componentes de alta frequência contidas na VFTO. O princípio de funcionamento do limitador e a determinação da sua resposta em frequência é apresentado. Também é analisado um exemplo de aplicação considerando um banco de transformadores com 3x155 MVA – 525-16,5 kV – YNd1.

O limitador de VFTO foi concebido de forma a poder ser instalado na entrada dos enrolamentos diretamente conectados a uma GIS. Dessa forma, as componentes de alta frequência são refletidas parcialmente, não penetrando no enrolamento. Com isso se reduzem as solicitações oriundas das componentes de alta frequência e ao mesmo tempo se evita a transferência para os demais enrolamentos. Sendo esse dispositivo incorporado ao transformador, este se torna mais resiliente às sobretensões geradas por manobras nas subestações isoladas a gás (GIS).

PALAVRAS-CHAVE

VFTO, Transformadores, Isolamento, Manobras, GIS

1.0 - INTRODUÇÃO

No dimensionamento dos transformadores de potência, a distribuição da tensão entre os discos e espiras que formam os enrolamentos é importante. Quando ondas de tensão com rápida variação incidem nos enrolamentos, a distribuição de tensão é ditada pelas capacitâncias do isolamento e assim, a tensão se concentra nos primeiros

(*) Rua João Dias, n° 110 – CEP 21.931-100 – Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Tel: (+55 21) 3396-7308 –Email: pmiguel@tgdelta.com.br

discos e espiras dos enrolamentos. Em um enrolamento da classe de 525 kV, 90% da tensão incidente se concentra nos três primeiros discos do enrolamento.

Quando um transformador é conectado a uma subestação isolada a SF₆ (GIS), a cada manobra de uma chave seccionadora qualquer da subestação, trens de pulsos de ondas de tensão com rápida variação são gerados. Esses trens de pulsos são denominados sobretensões muito rápidas, VFTO na sigla em inglês. Para a GIS a VFTO não representa nenhum risco de desgaste. Contudo, quando a VFTO chega aos terminais de um transformador, devido à rápida variação da tensão ocorre uma concentração da tensão nos primeiros discos e espiras do enrolamento impactado.

Os pulsos de VFTO são formados essencialmente por uma composição de ondas de tensão de frequências variadas. A frequência das componentes da VFTO depende da topologia da GIS, posto que as ondas de tensão são geradas a partir das reflexões e refrações nos pontos de descontinuidade de impedância existentes na subestação. Uma caracterização da VFTO e de sua origem é apresentado no item 2. No item 3 é descrito o dispositivo redutor da VFTO. No item 4 é apresentado um exemplo do resultado da aplicação do dispositivo para transformadores de um banco trifásico 3 x 155 MVA - 525-16,5 kV – YNd1.

2.0 - CARACTERIZAÇÃO DAS VFTO E SEUS EFEITOS SOBRE O ISOLAMENTO DOS TRANSFORMADORES

As VFTO são geradas a partir de manobras em subestações isoladas a gás (GIS). Devido às curtas distâncias observadas nesse tipo de subestação, a atenuação é muito reduzida e as reflexões se somam gerando sobretensões com a presença de componentes de frequência na faixa das centenas de mega-hertz. Na própria subestação o efeito dessas sobretensões é mínimo, mas ao atingir transformadores ou reatores conectados na GIS, esse tipo de sobretensão provoca o surgimento de pontos de elevada sollicitação no isolamento dos enrolamentos.

Embora a amplitude das VFTO seja inferior ao NBI do isolamento, a taxa de repetição dessas sobretensões é extremamente elevada. Vários trens de pulsos são gerados a cada manobra. Assim, o impacto frequente das VFTO sobre o isolamento, leva a uma degradação cumulativa do isolamento.

A figura 1 ilustra uma situação que leva à geração de um trem de pulsos de VFTO sobre um transformador. O vão de conexão do transformador apresenta um disjuntor e duas chaves seccionadoras. Inicialmente o disjuntor é aberto, desligando o transformador. Como o disjuntor é dotado de capacitores de gradação, uma corrente de pequena amplitude continua circulando através desses capacitores. Para evitar a ocorrência de fenômenos de ferroressonância, pelo menos uma das seccionadoras do ramal precisa ser aberta.

Com o disjuntor aberto, a corrente que passa pelas chaves seccionadoras será a corrente através dos capacitores de gradação do disjuntor. Essa corrente é extremamente baixa e será facilmente interrompida pelas seccionadoras.

A figura 2 mostra a suportabilidade de tensão da chave seccionadora durante a operação de abertura. Na posição fechada, os contatos estão em conexão galvânica e a tensão suportável é zero. Quando a chave abre, os contatos se separam e a tensão suportável entre os contatos varia com a distância. O tempo mecânico de abertura é de 50 ms, ao fim dos quais os contatos estarão na posição totalmente aberta. Quando a corrente é interrompida com os contatos ainda muito próximos a tensão suportável é baixa e diversas disrupções ocorrem, até que a distância entre os contatos seja suficiente para que a tensão seja suportada.

Se faz necessário agora considerar as razões que levam ao surgimento de uma tensão entre os contatos da chave seccionadora, uma vez que o disjuntor está na posição aberta. Ocorre que com o disjuntor na posição aberta, um divisor capacitivo é formado entre os capacitores de gradação e a capacitância do ramal do transformador e do trecho curto entre os terminais do disjuntor e da seccionadora. A figura 3 mostra o modelo do transformador. Como a soma da capacitância do ramal e do transformador é muito superior ao valor da capacitância de gradação, a tensão que se observa a jusante do disjuntor é baixa. No entanto, quando a seccionadora abre e interrompe a corrente, o divisor capacitivo passa a ser formado pela capacitância de gradação e pela capacitância do trecho de GIS entre o disjuntor e os terminais de entrada da chave seccionadora do transformador. Nesta situação, a capacitância de gradação apresenta um valor muito superior ao da capacitância do trecho de GIS. Com isso, aparece uma tensão da ordem de grandeza da tensão nominal no trecho entre o disjuntor e a seccionadora. Como o lado a jusante da seccionadora continua com a tensão anterior, praticamente nula, a tensão entre os contatos da seccionadora é praticamente da ordem de grandeza da tensão nominal do sistema. Com os contatos da seccionadora ainda próximos, a tensão aplicada é superior à suportabilidade de tensão e disrupções ocorrem. Quando ocorre uma disrupção, as cargas se redistribuem entre as capacitâncias e a tensão a jusante do disjuntor se reduz novamente a um valor praticamente nulo. Contudo, uma nova interrupção de corrente ocorre e o fenômeno se repete até que a distância entre os contatos da chave seccionadora seja suficiente para que a tensão seja suportada. Para efeito de simulação digital, se faz necessário modelar o efeito do arco elétrico na chave seccionadora, tendo sido usado o modelo descrito em [2].

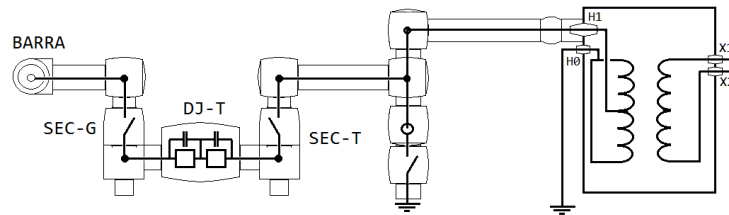


FIGURA 1 – Ilustração de circuito de manobra de transformador em uma GIS

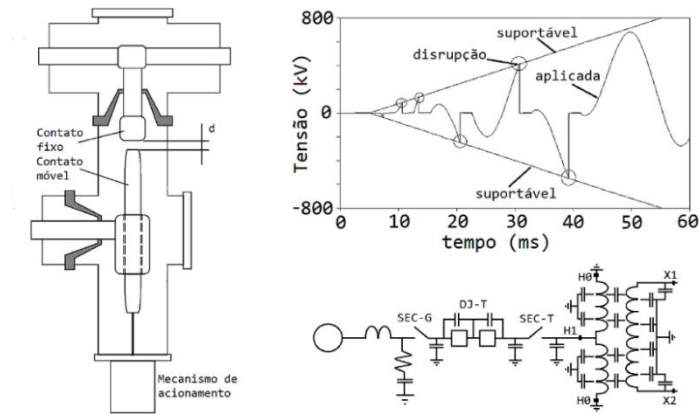


FIGURA 2 – Modelo da chave seccionadora

A figura 3 mostra parte do modelo simplificado de um transformador de potência. O enrolamento de mais baixa tensão, fica mais próximo do núcleo magnético e apresenta um arranjo helicoidal com duas camadas. O enrolamento de mais alta tensão é apresentada entrada pelo meio do enrolamento, sendo formado por discos. O modelo [3] representa as capacitâncias e as indutâncias dos enrolamentos. Na propagação dos surtos rápidos de tensão, a distribuição de capacitâncias é de extrema importância. Esse modelo, do tipo caixa aberta [3], pode ser substituído por modelos do tipo caixa fechada, de modo a simplificar o cálculo da interação do transformador com o restante do sistema elétrico [4].

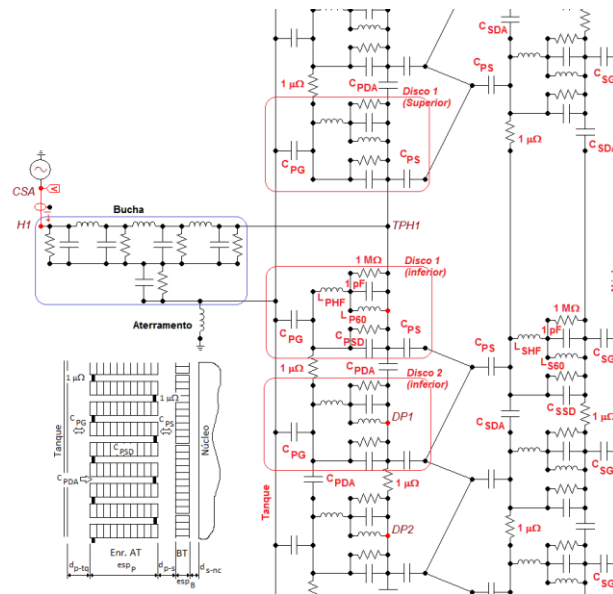


FIGURA 3 – Modelo simplificado do transformador [3]

Cada disrupção entre os contatos da chave seccionadora em manobra provoca um transiente no circuito elétrico formado pelo transformador e ramal da GIS. Como existe um acoplamento capacitivo entre os enrolamentos do transformador, o efeito da onda incidente em um dos enrolamentos se transfere aos demais enrolamentos.

Seja o esquema mostrado na figura 4, uma GIS com tensão nominal de 525 kV, com duas entradas de linha e quatro ramais de alimentação de transformadores. Os transformadores TF-1 a TF-4 são formados por bancos de três transformadores monofásicos, com as seguintes características: 3 x 155 MVA – YNd1 – 525 – 16,5 kV.

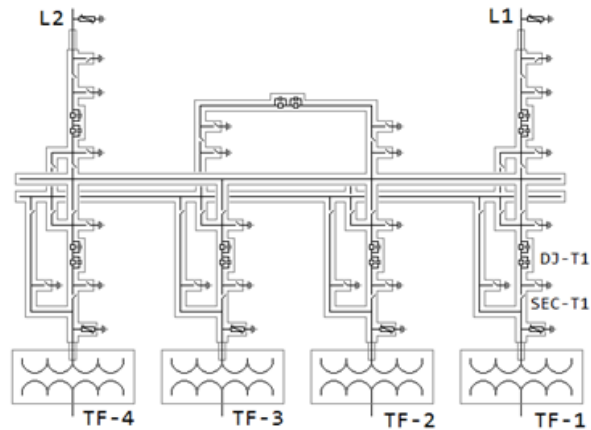


FIGURA 4 – Esquema simplificado da GIS

2.1 VFTO gerada nas manobras de abertura da chave seccionadora SEC-T1

Será analisada a solicitação imposta aos transformadores, para a seguinte manobra. Com o disjuntor DJ-T1 aberto, a seccionadora SEC-T1 será manobrada para a posição aberta.

O disjuntor é formado por duas câmaras de interrupção, sendo cada uma dotada de um capacitor de gradação de 4,0 nF. Assim, mesmo com o disjuntor DJ-T1 aberto, uma corrente circula no ramo de alimentação do banco de transformadores TF-1. Para evitar a ocorrência de sobretensões por ferroressonância nos transformadores se faz necessário abrir pelo menos uma das seccionadoras do ramo. Será aberta a seccionadora SEC-T1, localizada entre o disjuntor e o transformador. O tempo mecânico de abertura dos contatos da chave seccionadora é de 75 ms, ou seja, mais de quatro ciclos da frequência industrial. Esse tempo de operação propicia a possibilidade de 8 ou 9 diferentes instantes em que a corrente passa por zero. A cada passagem por zero ocorre uma tentativa de interrupção, que é acompanhada por uma oscilação de tensão. Se o espaço entre os contatos suportar a tensão desenvolvida, a corrente é interrompida. No entanto, como a velocidade de separação dos contatos é finita, os contatos podem estar ainda muito próximos e ocorre uma disrupção formando um arco elétrico entre os contatos da seccionadora. Quando da disrupção entre os contatos, as cargas elétricas armazenadas nas capacitâncias dos dois lados da chave se redistribuem, produzindo uma oscilação de alta frequência. Essa oscilação se propaga pela GIS, dando origem a reflexões e refrações, que formam as VFTO. A figura 5 ilustra as diversas disrupções quando da manobra de abertura da seccionadora.

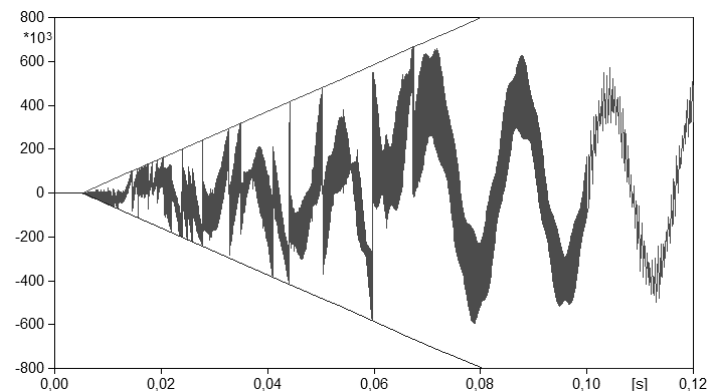


FIGURA 5 – Tensão entre os contatos da fase A da chave SEC-T1

A figura 6 mostra a tensão que incide no terminal H1B do transformador TF-1. A figura 7 mostra a tensão nos terminais H1A, H1B e H1C do transformador TF-2. É conveniente ressaltar que o disjuntor DJ-T1 está na posição aberta e a seccionadora que está sendo manobrada é a SEC-T1. Mesmo assim, o transiente passa através das capacitâncias de gradação e acaba alcançando os demais transformadores, com uma amplitude bastante relevante.

TABELA 1 – Valor de crista da VFTO em manobras de abertura das seccionadoras do ramal do TF-1

SEC-G1	DJ-T1	SEC-T1	Maior pico de tensão (kV)	
			TF-1	TF-2
FEC	ABT	MAN	897	882
MAN	ABT	FEC	748	782
MAN	ABT	ABT	0	633

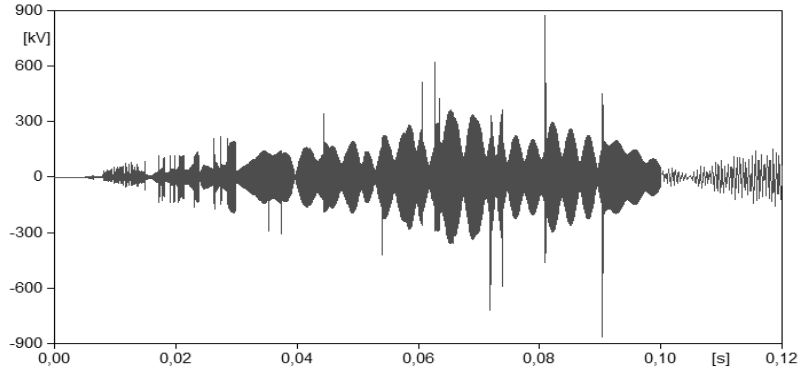


FIGURA 6 – Tensão no terminal H1B do transformador TF-1

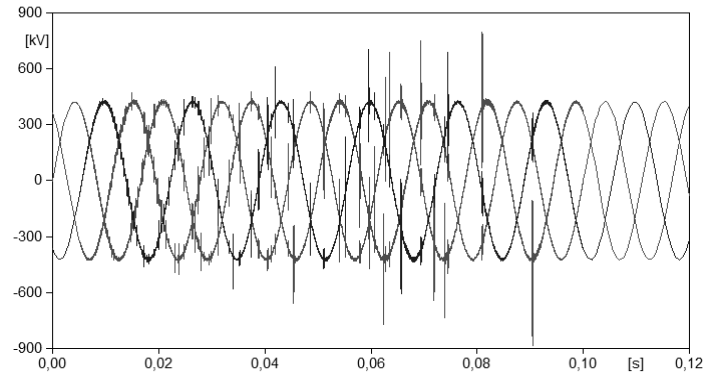


FIGURA 7 – Tensão nos terminais H1A, H1B e H1C do transformador TF-2

2.2 VFTO gerada nas manobras de abertura da chave seccionadora SEC-G1

A figura 8 mostra a tensão nos terminais H1A, H1B e H1C dos transformadores do banco TF-2, durante a manobra na chave seccionadora SEC-G1.

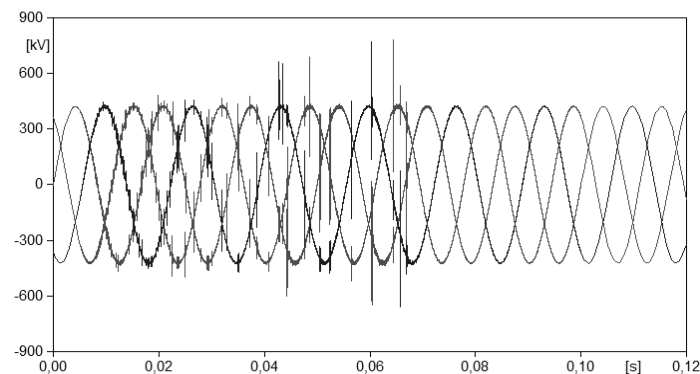


FIGURA 8 – Tensão nos terminais H1A, H1B e H1C do transformador TF-2

TABELA 2 – Valor de crista da VFTO em manobras de fechamento das seccionadoras do ramal do TF-1

SEC-G1	DJ-T1	SEC-T1	Maior pico de tensão (kV)	
			TF-1	TF-2
FEC	ABT	MAN	532	642
MAN	ABT	FEC	531	655

MAN	ABT	ABT	0	534
-----	-----	-----	---	-----

2.3 Espectro de frequência das VFTO

Cada manobra das chaves seccionadoras provoca sobretensões em todos os transformadores. Para cada topologia do circuito durante a manobra existirá um diferente espectro de frequências. Cada manobra gera um trem de pulsos, sendo que em cada pulso a amplitude será diferente, posto que depende do instante de interrupção entre os contatos da chave seccionadora. A figura 9 mostra a tensão no terminal H1A do transformador TF-2 para a manobra de abertura da chave SEC-T1 com o disjuntor DJ-T1 aberto. A componente dominante nessa manobra apresenta frequência de 35 MHz, com uma amplitude de 795,7 kV.

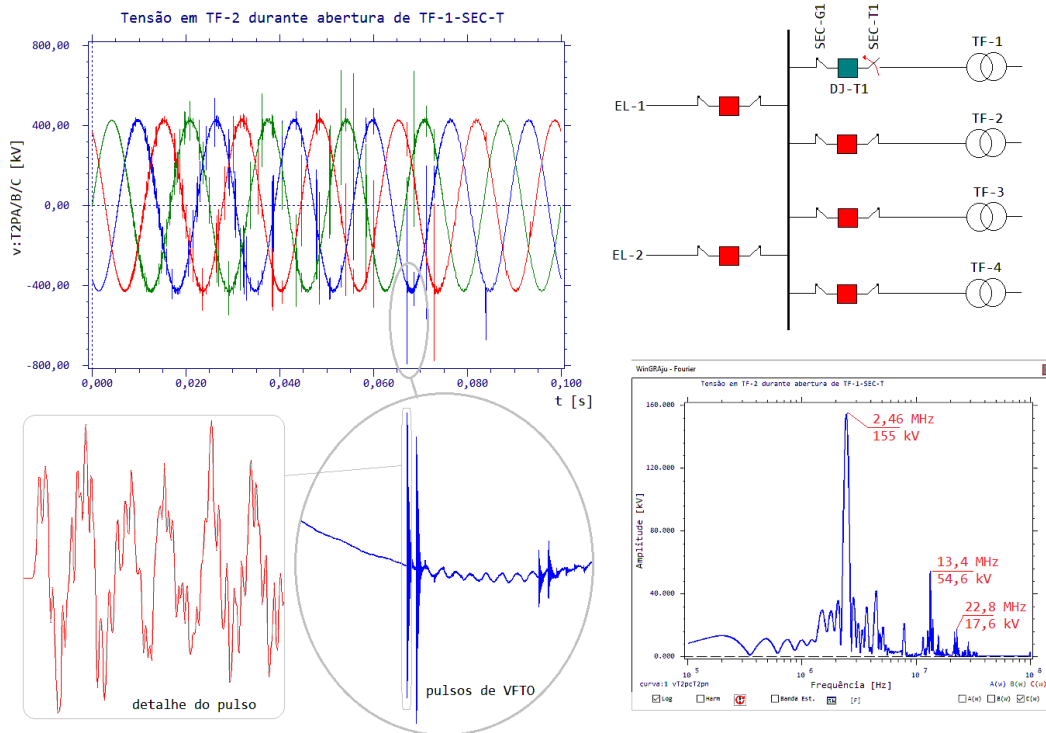


FIGURA 9 – Detalhe dos pulsos de VFTO incidentes no primário do transformador TF-2 fase C

Para efeito de comparação, a figura 10 mostra o espectro de frequências de um impulso com onda cortada usado nos ensaios de enrolamentos de transformadores de 525 kV. Pode ser verificado que o ensaio de onda cortada apresenta uma solicitação praticamente inexpressiva nas frequências acima de 10 MHz. Enquanto o pulso de VFTO mostrado na figura 9 apresenta picos expressivos nessa faixa de frequências. Considerando que o transformador é submetido a uns poucos impulsos de onda cortada e o número de pulsos de VFTO gerados a cada manobra de qualquer seccionadora da GIS é elevado, a solicitação apresentada pelos pulsos de VFTO acaba sendo mais relevante para a vida do isolamento do transformador.

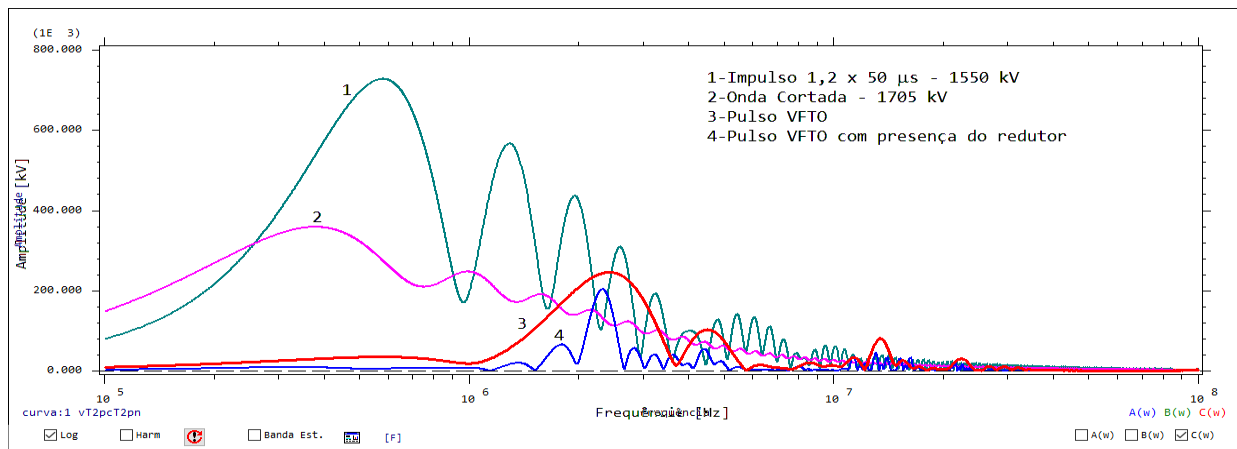


FIGURA 10 – Espectro de Frequências de uma onda cortada

2.4 Comportamento do isolamento frente a frequências elevadas

O comportamento dos materiais isolantes utilizados em transformadores é a grosso modo o de uma capacitância. Ocorre que a permissividade dielétrica do material varia em função da frequência [5, 6], conforme pode ser visto na figura 11. Quando uma tensão senoidal é aplicada sobre o isolamento e medida a corrente total através do isolamento obtém-se a permissividade dielétrica dada por:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad \sigma = \omega\varepsilon'' \quad \text{tg}\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$$

O fator de perdas (ε'') apresenta um pico pouco acima da frequência industrial e um segundo pico na faixa das radio frequências, sendo a região desse segundo pico onde se observam as VFTO. Dessa forma, a presença de VFTO sobre o isolamento de um transformador acarreta maiores perdas no dielétrico e, portanto, maior elevação de temperatura. A componente real da corrente que flui através do dielétrico é proporcional à frequência angular da tensão aplicada, sendo dada por:

$$J_R = \sigma E = \omega\varepsilon'' E = 2\pi f \varepsilon'' E$$

Assim, é possível concluir que a existência de uma tensão aplicada na faixa de 10 a 100 MHz provoca um aquecimento do isolamento muito mais intenso do que a aplicação de uma tensão na faixa até 1 kHz.

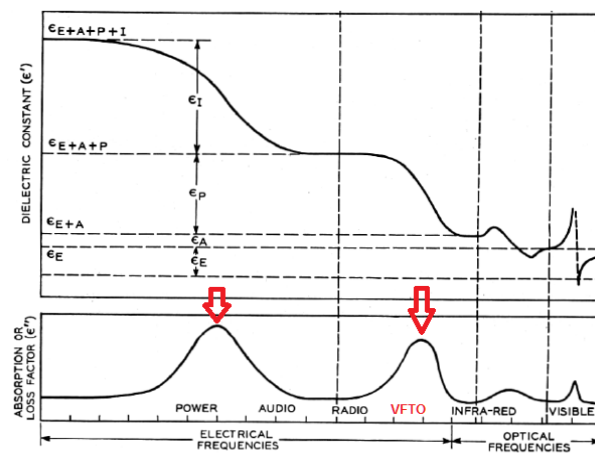


FIGURA 11 – Variação da constante dielétrica (ε') e da absorção (ε'') em função da frequência

3.0 - DISPOSITIVO PARA REDUÇÃO DE VFTO

Os pulsos de VFTO apresentam componentes de frequência elevada, na faixa de dezenas de MHz. Para reduzir o aquecimento do isolamento, provocado pelos pulsos de VFTO se faz necessário dissipar a energia contida nos componentes de frequência elevada, principalmente aquelas acima de 10 MHz. A dissipação de energia requer a presença de resistência elétrica no ramo alimentador do transformador. O dispositivo elaborado utiliza o efeito pelicular para fazer com que a resistência elétrica seja fortemente aumentada quando da passagem das componentes de frequência elevada.

A profundidade de penetração da corrente em um material condutor, depende da frequência do sinal, da resistividade elétrica e da permeabilidade magnética [5,6], sendo dada por:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}} \quad , \text{Onde } \rho \text{ - resistividade elétrica do material condutor, } \mu \text{ - permeabilidade magnética do material}$$

condutor.

Quanto menor a profundidade de penetração, mais a corrente se concentra nas proximidades da superfície externa do condutor. A resistência elétrica será então definida pela área de condutor efetivamente percorrida pela corrente.

A figura 12 apresenta uma comparação da variação da resistência elétrica do dispositivo com a de um condutor com diâmetro de 25 mm e 1 m de comprimento, para cobre, ferro e μ -metal. Verifica-se que a variação da resistência apresentada pelo dispositivo é mais acentuada do que para um condutor cilíndrico. Esse efeito se deve à capacitância entre os condutores centrais e o involucro. Essa mesma capacitância faz com que apareça um comportamento oscilatório acima de 20 MHz.

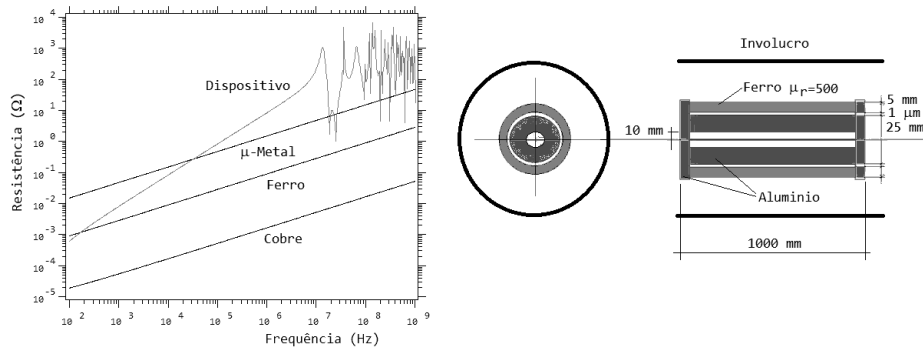


FIGURA 12 – Variação de resistência de condutores cilíndricos e do dispositivo redutor de VFTO

4.0 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Os transformadores para os quais o dispositivo foi concebido e seus efeitos simulados formam um banco conectado em YNd1, com cada transformador tendo as seguintes características: 155 MVA – 525 – 16,5 kV. O núcleo magnético é do tipo envolvente, usando GOES-M-3 com 0,23 mm de espessura. A perna central apresenta área magnética efetiva de 0,91 m², com diâmetro 1135 mm e altura 2430 mm. O enrolamento de 525 kV utiliza entrada pelo meio do enrolamento, sendo dividido em parte inferior e superior. Cada parte apresenta 754 espiras divididas em 50 discos. A capacitância equivalente dos enrolamentos é dada por: CPG=1,0625 nF, CPS=1,892 nF e CGS=8,479 nF.

A figura 13 mostra o efeito do dispositivo no espectro de frequências da tensão que incide nos terminais do enrolamento de 525 kV do transformador. Pode ser notada uma redução significativa na amplitude e na largura do espectro.

A figura 14 mostra a distribuição de tensão entre os discos do enrolamento de 525 kV, para duas situações: na frequência industrial e para altas frequências. Quando submetido a altas frequências, os três primeiros discos das partes inferior e superior suportam praticamente toda a tensão aplicada. Essa situação é extremamente crítica quando da incidência de um pulso de VFTO, posto que o fator de perdas estará num dos picos mostrados na figura 11 e a frequência está na faixa das dezenas de mega-hertz. Com isso, o material isolante entre as espiras sofre forte aquecimento nesses primeiros discos.

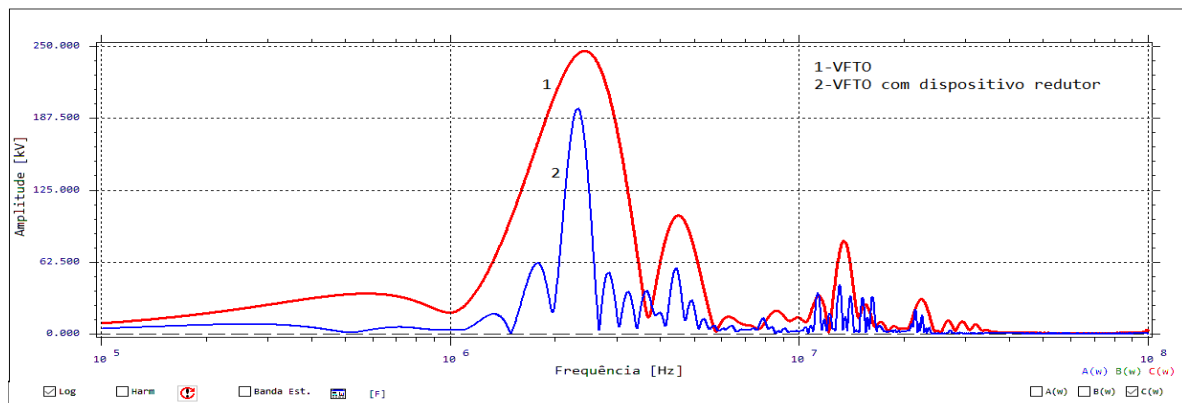


FIGURA 13 – Efeito do dispositivo redutor de VFTO no espectro de frequências dos pulsos

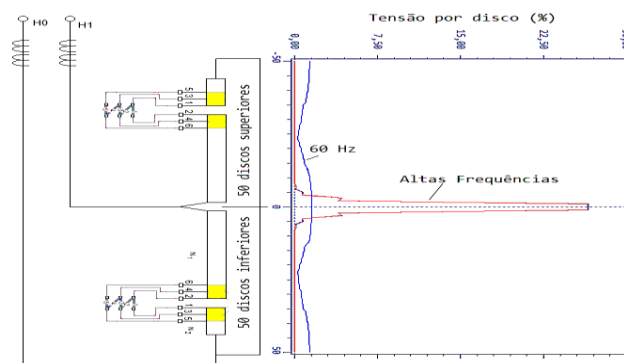


FIGURA 14 – Distribuição de tensão ao longo dos discos do enrolamento de 525 kV

5.0 - CONCLUSÃO

Os transformadores de potência conectados a subestações isoladas a SF6 (GIS) são submetidos a sobretensões extremamente rápidas (VFTO), originadas a toda e qualquer manobra de uma chave seccionadora na subestação. Como as VFTO apresentam frequências na faixa de dezenas de mega-hertz, mesmo com o disjuntor aberto, a VFTO passa pelos capacitores de gradação e acaba atingindo todos os transformadores instalados na subestação.

Este artigo visa descrever um dispositivo redutor de VFTO para ser aplicado a transformadores de potência, cujo objetivo é o de reduzir a energia dissipada no isolamento dos enrolamentos do transformador.

A VFTO apresenta amplitude inferior ao NBI do transformador, mas como mostrado na figura 10, a VFTO apresenta um maior conteúdo de componentes na faixa acima de 10 MHz do que as ondas de tensão usadas nos ensaios de impulso. Há que considerar que o transformador é submetido aos ensaios de recebimento e depois disso, em um projeto bem elaborado, não mais sofrerá impactos acima de 85 % do NBI. Enquanto isso, cada manobra em uma das chaves seccionadoras da GIS, fará com 10 a 20 pulsos de VFTO venham a incidir nos terminais do transformador. Assim, a VFTO passa a ser o mecanismo de falha mais importante para o isolamento dos transformadores de potência, sendo importante a redução da energia que as VFTO dissipam no interior do enrolamento.

O dispositivo em questão, provoca uma atenuação importante das componentes acima de 10 MHz da VFTO e com isso reduz o calor a ser gerado no isolamento entre espiras pela corrente de deslocamento.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Miguel P.M. – “Introdução à Simulação de Relés de Proteção usando a linguagem MODELS do ATP” – ISBN 978- 85-399-0055-8 – Editora Ciência Moderna - Rio de Janeiro – Brasil – 2011
- (2) Miguel P.M. – “Modelo de chave com representação do arco elétrico e sua utilização para a simulação de fenômenos de VFTO” – XXI SNTPEE – Grupo VIII– 23 a 26 de outubro de 2011 – Florianópolis – SC
- (3) Miguel P.M., Sans M.R., Ravaglio M.A., Teixeira Jr J.A., Moraes G.F., Fontanella C.A.A. – Avaliação de sobretensões internas em transformadores de potência através de modelos em caixa aberta para simulação na plataforma ATP – VII Workspot – Workshop Internacional sobre transformadores de potência, equipamentos, subestações e materiais – Rio de Janeiro, RJ – 23 a 26 de novembro de 2014.
- (4) Sans M.R., Ravaglio M.A., Teixeira Jr J.A., Miguel P.M., Moraes G.F., Fontanella C.A.A. – Comparação de modelos digitais de transformadores de força para avaliação dos níveis de sobretensão em simulações de transitórios rápidos e muito rápidos – VII Workspot – Workshop Internacional sobre transformadores de potência, equipamentos, subestações e materiais – Rio de Janeiro, RJ – 23 a 26 de novembro de 2014.
- (5) S. Ramo, J.R. Whinnery, T. Van Duzer – Fields and Waves in Communication Electronics – John Wiley & Sons – 1965
- (6) J.D.Kraus, K.R.Carver – Electromagnetics – 2nd edition – McGraw-Hill Kogakusha -1973 – ISBN 0-07-035396-4
- (7) Murphy, E. J. and Morgan, S. O. (1938), The Dielectric Properties of Insulating Materials. Bell System Technical Journal, 17: 640–669. doi:10.1002/j.1538-7305.1938.tb00802.x

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Pablo Mourente Miguel, brasileiro naturalizado, nascido na Espanha em 1951. Engenheiro Eletricista (1975) pela UFRJ, Mestre (1981) e Doutor (1984) em Ciências da Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Área de atuação: Transitórios eletromagnéticos, coordenação de isolamento e proteção de sistemas elétricos. Para maiores detalhes, consultar <http://lattes.cnpq.br/6049316115897758>

Teixeira, José Arinos, Jr., nasceu Rio Claro SP. Graduado em Engenharia Elétrica e Mestrado em Física em 1979 e 1992 respectivamente pela UFPR. Desde 1980 trabalha no laboratório de alta tensão do LACTEC. É atualmente pesquisador sênior na Divisão de Estudos Elétricos do Instituto LACTEC. É autor e co-autor de várias contribuições técnicas e artigos sobre medição em alta tensão, ensaios em laboratório de alta tensão, sensores e monitoramento de grandezas elétricas no campo.

Marcio R. Sans, brasileiro, nascido em Curitiba, Paraná em 1980. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (2013), especialização em Gestão de Projetos pela FAE Business School (2009), graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Computação pela Universidade Positivo (2004) e em Eletrotécnica pelo UTFPR-PR(1999). Trabalha em projetos de pesquisa e desenvolvimento no LACTEC desde 2005, com foco em ensaios de alta tensão, medição de grandezas elétricas em circuitos de potência, geração de modelos de equipamentos elétricos e automação de sistemas. Para maiores detalhes, consultar <http://lattes.cnpq.br/7087026394951146>

Celso Luiz de Lima Martins, brasileiro, nascido em Curitiba, Paraná em 1955. Formado pela Escola Técnica Federal do Paraná atual CEFET (1973) no curso de Eletrotécnica. Atualmente exerce função de Técnico Especializado no Laboratório de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC nas áreas de Ensaios Elétricos, Subestações, Usinas Hidroelétricas e no Laboratório de Alta Tensão.

Para maiores detalhes, consultar CV: <http://lattes.cnpq.br/4110595126985583>