



XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CB/GDS/07

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - 10

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS

COMPARAÇÃO DE TRANSIENTES DE MANOBRA VFT'S OBTIDOS ATRAVÉS DE MODELAGEM COM MEDIÇÕES EM CAMPO EM SIG'S

JOSÉ ARINOS TEIXEIRA JR. (*) MARCIO ROT SANS MARCELO ANTONIO RAVAGLIO
RICARDO COSTA SHOLZ CELSO LUIZ DE LIMA MARTINS
LACTEC - INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

PABLO M. MIGUEL
TGDELTA ENG. CONS. LTDA

CARLOS A. A. FONTANELLA GERMANO FROLICH MORAES JULIO CEZAR DE OLIVEIRA CASTIONI
COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO SA

RESUMO

Em uma subestação isolada a gás (GIS) existem manobras que podem gerar transientes de frequências muito elevadas (very fast transientes - VFT), geralmente de dezenas ou mesmo centenas de MHz. Além disso, o fenômeno pode envolver amplitudes acima do NBI, sendo classificadas, portanto, como sobretensões (very fast transients overvoltages- VFTO), possuindo um padrão de re-ignição, com dezenas de recorrências.

A existência de transientes muito rápidos é fato comum em ambientes pressurizados, tal como ocorre em GIS. A amplitude e o padrão de re-ignição destes transientes são importantes do ponto de vista da interação com outros equipamentos, uma vez que podem estressar os mesmos além de sua suportabilidade. A manobra mais crítica é a seccionadora, especialmente se a mesma for lenta, podendo gerar sobretensões de até 2 p.u., com dezenas de re-ignições, já a manobra de disjuntor gera VFT's de baixa amplitude e com poucas re-ignições.

A caracterização das VFT's é geralmente realizada através de medições 'in-loco' nas instalações, através de sensores instalados em flanges existentes e/ou por simulações digitais feitas por aplicativos como o Alternative Transients Program (ATP). A medição em campo é limitada aos pontos em que existam flanges, mas reflete a realidade do fenômeno neste ponto. Por outro lado, a simulação digital permite 'medir' o transiente em qualquer ponto, mas é uma medida virtual, que pode ser validada, como por exemplo, nos pontos onde existam sensores.

O artigo trata de ajustes na simulação digital para que a mesma possa refletir, pelo menos, em ordem de grandezas, as medições reais realizadas em campo. Para tanto, vamos apresentar um estudo de caso, para uma manobra típica utilizada frequentemente nas concessionárias geradoras de energia.

PALAVRAS-CHAVE

VFTO, Transformadores, Isolamento, Manobras, GIS

(*) Caixa Postal 19.067 – CEP 81531-980 – Curitiba, PR, Brasil

Tel: (+55 41) 3361-6202 –Email: arinos@lactec.org.br

1.0 - INTRODUÇÃO

As falhas de equipamentos essenciais de uma das hidrelétricas mais importantes da região SUL, a Usina Hidrelétrica Governador Bento Munhoz da Rocha Neto (UH-GBM), de 1.600MVA, onde três transformadores elevadores de 155MVA falharam com diferença de semanas, ocasionaram sérios transtornos a concessionária e sua recomposição levou meses de trabalho árduo e investimentos.

Em uma das muitas frentes de trabalho iniciadas para descobrir as razões das falhas, teve início a pesquisa de transientes muito rápidos na subestação isolada a gás que conecta esta instalação ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Fortuitamente, foi possível desenvolver boa parte dos estudos dentro do âmbito de um projeto aprovado no P&D ANEEL. Este projeto consta de sensores banda larga para medição de transientes em tempo real, dispositivo de comissionamento dos sensores, GIS experimental de 500 kV para experiências em laboratório, máquina de manipulação de gás SF6, infraestrutura completa de instrumentação e estudos providos pelos melhores especialistas brasileiros, etc.

Como uma das contribuições a este estudo, dentre as muitas ainda a apresentar, temos os primeiros resultados deste esforço no quesito medição & simulação – uma dupla abordagem que vai auxiliar profissionais nacionais e internacionais a encontrar uma das prováveis causas das falhas na instalação em estudo e em instalações que possuem arranjo similar aos estudados. Neste artigo temos no item 2, as atividades desenvolvidas no âmbito da simulação digital; no item 3, abordamos os estudos e manufatura de sensores para as instalações de UHGBM, UHGJR e para a GIS experimental, no item 4, os resultados vis-à-vis das duas técnicas, no item 5 resumo das medidas nas duas usinas, e concluímos no item 6.

2.0 - SIMULAÇÕES DAS USINAS UH-GBM E UH-GJR

Os modelos utilizados neste estudo referem-se as GIS de 550 kV das usinas Governador Bento Munhoz da Rocha Neto (UH-GBM) e Governador José Richa (UH-GJR) da COPEL. Os modelos digitais de alta frequência para estas instalações foram derivados com especial ênfase no modelo de arco elétrico, que visa simular a abertura e fechamento nas manobras de chaves (seccionadoras e de aterramento) e disjuntores.

Na plataforma ATP estão disponíveis apenas modelos de chaves ideais. Em uma chave ideal, a corrente é interrompida de forma definitiva ao passar pelo primeiro zero, após a abertura dos contatos, qualquer que seja a tensão transitória que apareça.

Em uma chave real, onde existe o efeito do arco elétrico e a velocidade de separação dos contatos é finita, podem ser observados RE-IGNIÇÕES do arco elétrico em função da tensão transitória que aparece após a interrupção da corrente. Os modelos utilizados consideram o efeito do arco elétrico e a velocidade de separação dos contatos, a partir das contribuições teóricas de Cassie e Mayr[8].

Neste artigo foram simuladas manobras da chave seccionadora do gerador. As manobras são realizadas conforme especificado no Procedimento Operacional da UH-GBM MPU-UHEGBM-PO080 [7] sob os itens 1A, 1B, 2A, 2B, mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Manobras na UH-GBM segundo Manual de Procedimentos Usina MPU.

1A) Unidade parando, disponível ao ONS	1B) Unidade retornando, disponível ao ONS	2A) Unidade parando para manutenção	2B) Unidade retornando após manutenção
Gerador em operação	Gerador parado	Gerador em operação	Gerador parado
Retirar cargas ativas e passivas	Fechar seccionadora de Grupo 89Gn	Retirar cargas ativas e passivas	Abrir seccionadora de aterramento 57Bn
Abrir o disjuntor 52Gn	Partir a Unidade	Abrir o disjuntor 52Gn	Fechar seccionadora de Grupo 89Gn
Desexcitar a unidade	Excitar a unidade	Desexcitar a unidade	Partir a Unidade
Parar a Unidade	Fechar o disjuntor 52Gn, em sincronismo	Parar a Unidade	Excitar a unidade
Abrir seccionadora de Grupo 89Gn	-	Abrir seccionadora de Grupo 89Gn	Fechar o disjuntor 52Gn, em sincronismo
-	-	Fechar seccionadora de aterramento 57Bn	-

Inicialmente, observou-se que as simulações digitais das situações 1A (2A) e 1B (2B) produziam transientes de amplitudes muito pequenas (20kVcrista), verificando o que inicialmente se pensava no Procedimento Operacional, que era manobrar a seccionadora com tensão zero em ambos terminais (DDP=0) e gerar quase nenhum transitório VFT, uma vez que o disjuntor estava aberto de um lado e o gerador estava parado, do outro lado.

As medições de campo, no entanto, indicavam valores de VFT bastante expressivos, da ordem de 0.5 até 1.5 p.u. para ambas as GIS de UH-GBM e UH-GJR. Sendo que $1 \text{ p.u.} = \sqrt{2} \cdot U_{f-t} / \sqrt{3} \cong 440 \text{ kVcrista}$. Portanto, a situação de DDP=0 entre os terminais da seccionadora as manobras 1A e 1B não reflete a situação de campo. Após análise do circuito, constatou-se uma situação de divisor capacitivo sendo formado entre a capacitância série do disjuntor (capacitância de equalização de potencial), entre os contatos do disjuntor 52-G e a capacitância da SEÇÃO CURTA de barramento entre o terminal do disjuntor até o terminal da seccionadora, conforme apresentado nas figuras 1 e 2.

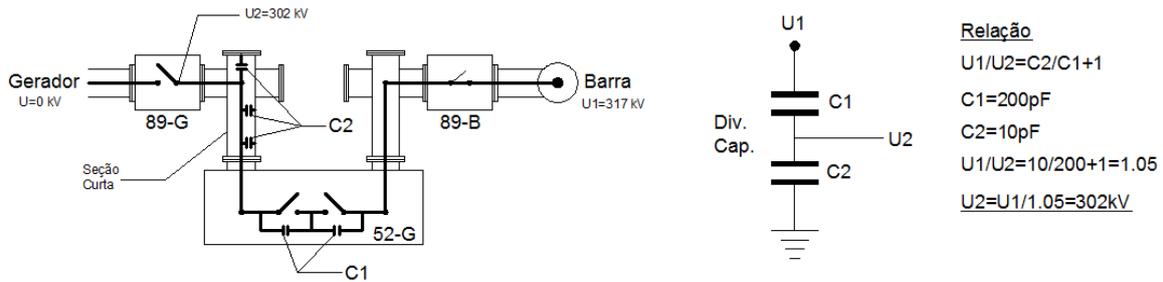


FIGURA 1. Efeito de divisor capacitivo nas manobras 1A e 1B, mostrando um DDP de 302 kV nos terminais da seccionadora. Sempre em que há o apagamento do arco, está tensão aparece, propiciando novo re-acendimento

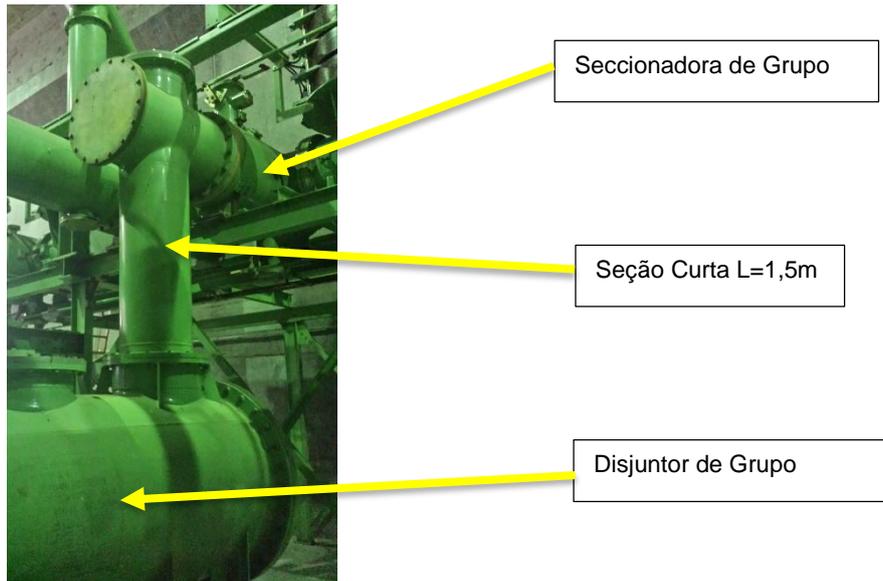


FIGURA 2 – Foto do conjunto disjuntor, seção curta e a seccionadora de grupo da UH-GBM

Com efeito, verificou-se que não havia no modelo digital esta pequena seção de 1,5m, que ao ser adicionada, já produziu os resultados mais próximos aos medidos em campo, com VFTO's de centenas de kV.

Em segundo lugar, observou-se que os resultados para as medições em um mesmo bay, ou seja, manobrar a 89G4 e medir em um sensor instalado próximo a 89G4, apresentavam ainda uma aderência um pouco a desejar. Logo necessitou-se ajustar o modelo da seccionadora, a qual possui vários parâmetros de ajuste no aplicativo ATP. Veja na figura 3, o circuito ATP do modelo de seccionadora utilizado e a lista correspondente de parâmetros que influenciam seu comportamento. O parâmetro mais crítico é o tempo de abertura da seccionadora, informação que não consta nos documentos do fabricante. Este tempo é muito importante, pois sabemos que quando mais rápida é uma seccionadora, menos re-ignições ocorrem. Portanto, a cada refinamento realizado, foi possível melhor aderência entre modelo e medida de campo.

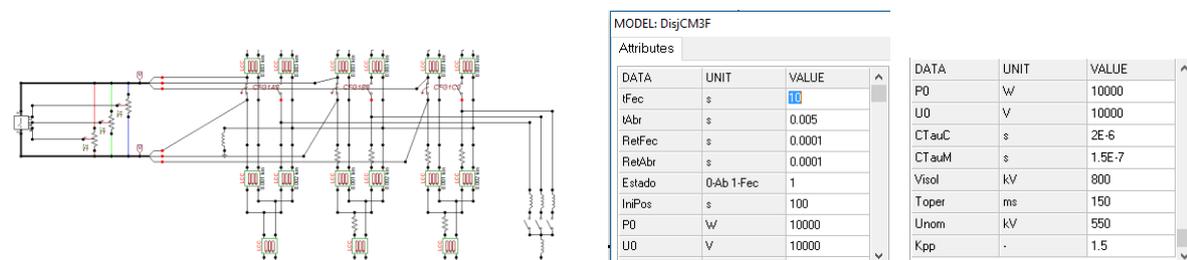


FIGURA 3 – Modelo da seccionadora e a lista de parâmetros de ajuste

Em terceiro lugar e novamente através de medição de campo, observou-se que quando se manobrava a seccionadora de grupo no bay do gerador 1 e se mediam os transientes em um sensor remoto, por exemplo, no bay do gerador 4, obtinha-se medidas de amplitude razoável, com padrão de sinais semelhantes aos medidos no sensor do bay 1. Este comportamento, no entanto, não ocorria na simulação, que produzia transientes no bay 1, mas não

no bay 4, atenuando por completo o sinal. Este comportamento contraria até o que é reportado na literatura acerca da baixa atenuação dos transientes VFTO ao longo dos invólucros de GIS.

Para correção deste problema atuou-se no componente do ATP, que em primeira ordem utilizou-se o componente de linha LCC, no modo *Single Core Cable*, com cabos aéreos e o modelo *PI*. As figuras 4 e 5 apresentam as características utilizadas no componente e que não tiveram um comportamento condizente com as medições em campo.

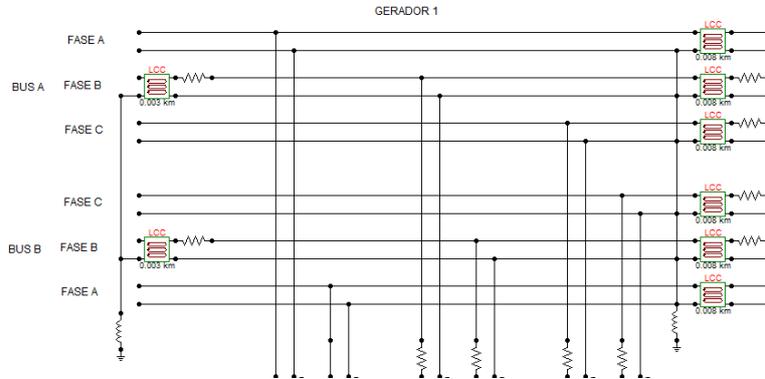


FIGURA 4 – Modelo da GIS com a utilização do modelo LCC/ Single Core Cable para L.T.

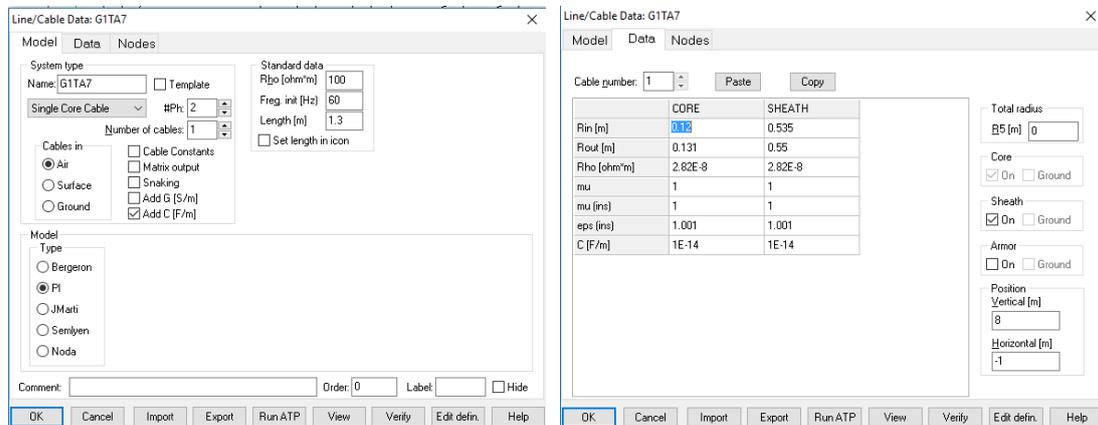


FIGURA 5 – Modelo de linha de transmissão LCC. *Single Core e Pi.*

Com a adoção de um modelo diferente do mostrado na figura 5 foi possível obter resultados mais próximos com a medição de campo. Sendo bom lembrar que um modelo pode ser adequado para certo tipo de transiente, mas inadequado para outro tipo, ou mesmo, pode introduzir oscilações indesejadas e outros problemas. Neste caso, estamos trabalhando atualmente com o componente LCC, *Enclosing Pipe* com modelo *Bergeron*, conforme detalhe da figura 6.

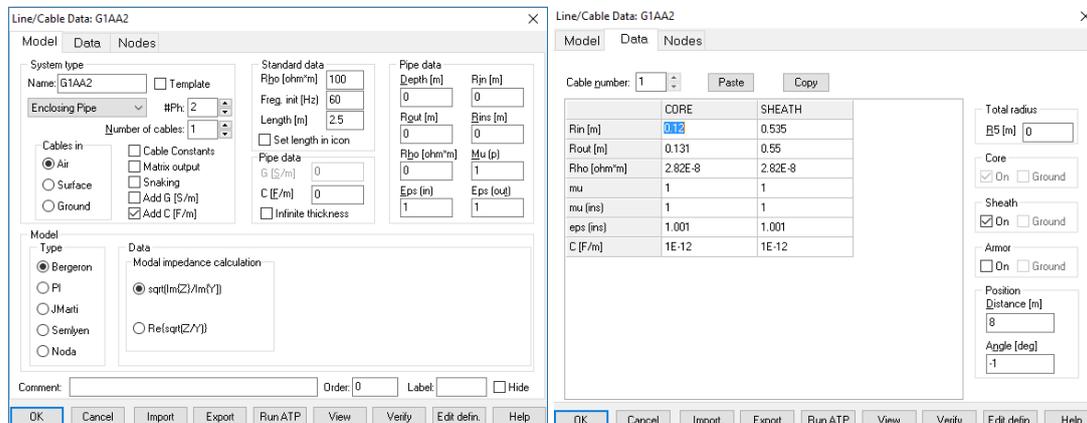


FIGURA 6 – Modelo de linha de transmissão LCC. Neste caso 'Enclosing pipe e tipo Bergeron'

3.0 - DESENVOLVIMENTO DOS SENSORES PARA MEDIÇÃO VFT EM CAMPO

Existem muitos artigos na literatura técnica abordando especificamente para medição de VFTO's em campo, citamos [4] e [5]. Eles tem em comum o uso de um divisor capacitivo, como o mostrado na figura 7 abaixo. Na figura, C_1 é a capacitância primária entre o barramento e o eletrodo do sensor, e C_2 é a capacitância secundária fabricada como parte interna do sensor, o qual, tipicamente é projetado para se acoplar aos flanges disponíveis nas GIS's.

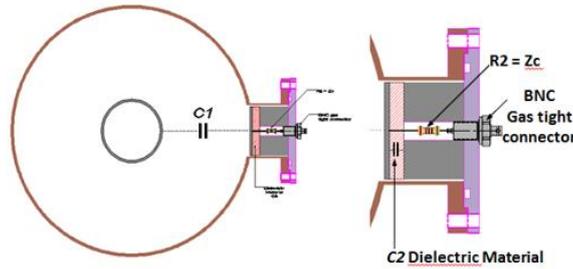


FIGURA 7 – A esquerda, vista em corte do barramento da GIS, com a flange existente e a adaptação da unidade secundária, mostrando C_1 , formado entre a barra e o eletrodo do sensor. A direita, a unidade secundária, mostrando C_2 e as conexões associadas

A capacitância primária C_1 é formada por um capacitor de alta qualidade a gás SF6, mostrando resposta plana de DC até algumas centenas de MHz. Obviamente, o material dielétrico de C_2 deve apresentar o mesmo comportamento em relação a frequência que C_1 . Existem alguns candidatos, como por exemplo, os filmes plásticos dielétricos [Mylar] ou mesmo um cartão de fibra de vidro, duplo lado, para circuitos impressos, entre outros. Foram experimentados ambos os tipos e optou-se pelo cartão de fibra de vidro. Necessitou-se também de conectores coaxiais pressurizados do tipo *BNC* ou *N*. Um resistor de casamento de impedância é tipicamente colocado em aplicações de medições de pulso ultrarrápidos em malhas capacitivas.

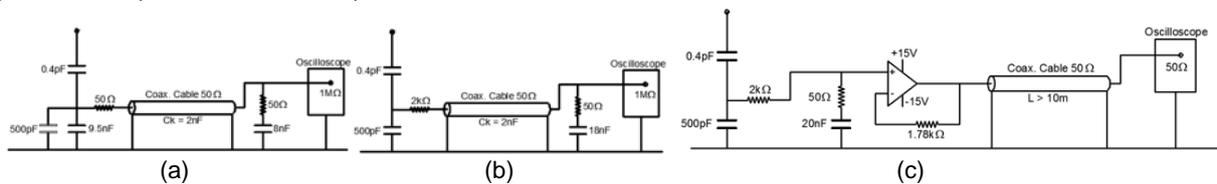


FIGURA 8 – Sistemas de medição. a) Passivo seg. Burch, b) Passivo seg. Meppelink, c) Ativo

O Sistema de medição de VFT é um divisor de tensão capacitivo clássico. Um dos componentes deste divisor é o cabo coaxial. Ele se comporta como uma impedância de onda, resistiva, em altas frequências e se comporta como uma capacitância em baixas frequências, introduzindo um erro. Estima-se que este erro seja da ordem C_2/C_k (considerando $C_1 \ll C_2$), onde C_k é a capacitância do cabo. Devido ao valor de C_2 , temos limitação no comprimento do cabo coaxial. Para um erro menor que 10%, C_k dever ser menor que $C_2/10$.

Para minimizar este erro, os circuitos da figura 8 são propostos, onde é demonstrado que é possível obter-se uma relação plana, dentro de 1.4%, para ambos, desde que o cabo coaxial não ultrapasse 10m. No âmbito deste trabalho optou-se pelo circuito de acordo com Meppelink. Devido às limitações no comprimento do cabo, desenvolveu-se também um sensor ativo, onde com auxílio de um buffer de tensão, o sinal de alta frequência é desacoplado e pode-se utilizar comprimentos maiores de cabo.

A calibração do sensor é feita através de uma célula de teste de acordo com a IEC TS 61321-1[6] e um estudo da Ontario Hydro [4]. A figura 9(a) apresenta as características construtivas da célula de teste, enquanto a figura 9(b) apresenta a célula de teste desenvolvida para a calibração dos sensores utilizados no estudo.

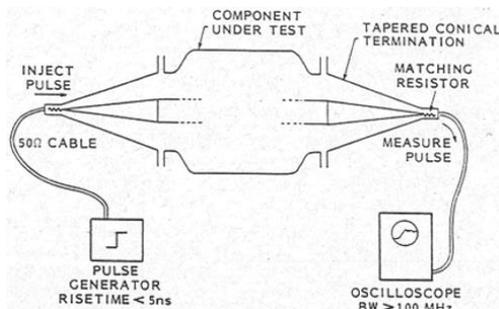


FIGURA 9 – a) Características da célula de Teste IEC, b) Célula de Teste construída pelos pesquisadores do projeto

O gerador de pulso fornece onda do tipo degrau com *rise-time* de 200ps e amplitude de 500V até 5kV. Para a medição do sinal utiliza-se um osciloscópio de 2GHz. Na figura 10 estão apresentados os resultados de medidas efetuadas na célula de teste utilizando sensor ativo e sensor passivo.

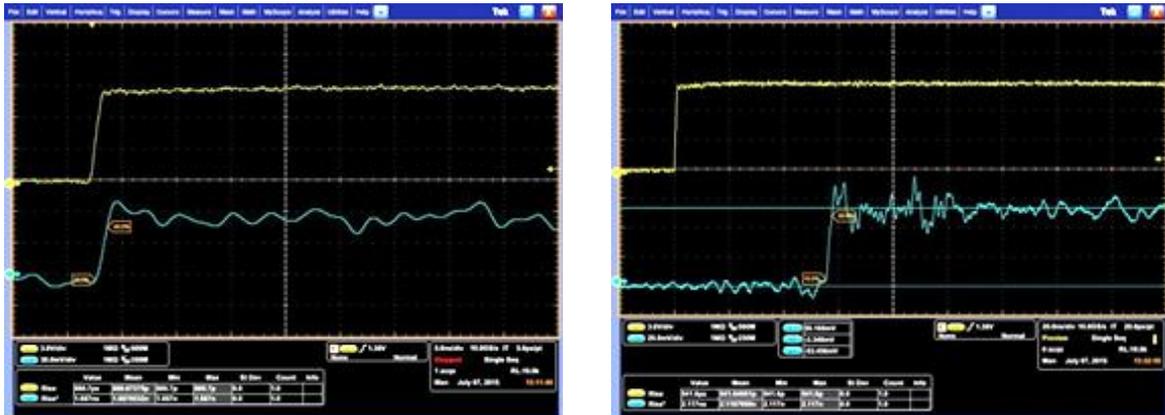
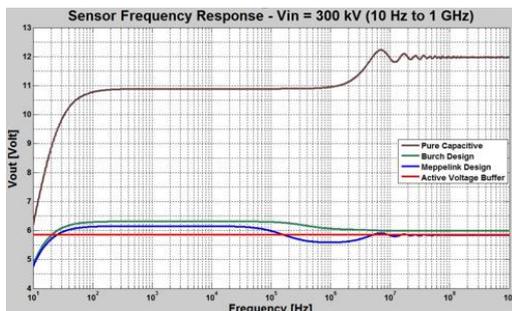


FIGURA 10. Resposta dos sensores (inf. em azul) ao pulso VFT (sup. em amarelo). (esq.) Sensor passivo com 10m de cabo, (dir.) Sensor ativo com cabo 20m

Na figura 11 estão apresentados os resultados da resposta em frequência simulada usando o ATP-Draw [20] na faixa de 10Hz a 1GHz e o teste de linearidade da relação dos sensores em função das diversas tipos de pulso.



Wave-form	Passive Sensor - 10 m cable			Active Sensor - 20 m cable		
	V_{in}	V_{out}	Scale Factor	V_{in}	V_{out}	Scale Factor
a	1000	0.0154	6.49E+4	1000	0.0153	6.54E+4
b	1600	0.0250	6.40E+4	1600	0.0252	6.35E+4
c	1600	0.0247	6.45E+4	1600	0.0244	6.56E+4
d	1250	0.0199	6.28E+4	1250	0.0191	6.54E+4
e	3500	0.0545	6.42E+4	3500	0.0534	6.55E+4
SF med.			6.41E+4			6.51E+4
SD%			1.25			1.37

FIGURA 11. Resposta em frequência simulado e o teste da linearidade. a-AC b-SM c-IA d-IACF e-VFT

4.0 - MEDIÇÃO & SIMULAÇÃO

As manobras apresentadas a seguir são na GIS da UH-GBM e são constituídas essencialmente das manobras previstas no procedimento operacional, itens 1A e 1B da Tabela 1. Os sensores estão instalados junto aos para-raios em cada fase, logo após as seccionadoras de grupo em direção ao gerador.

A figura 12 apresenta o resultado de medição da manobra de fechamento da chave seccionadora de grupo da unidade geradora 04. Observa-se nitidamente que é um fechamento, pois os pulsos de VFT diminuem.

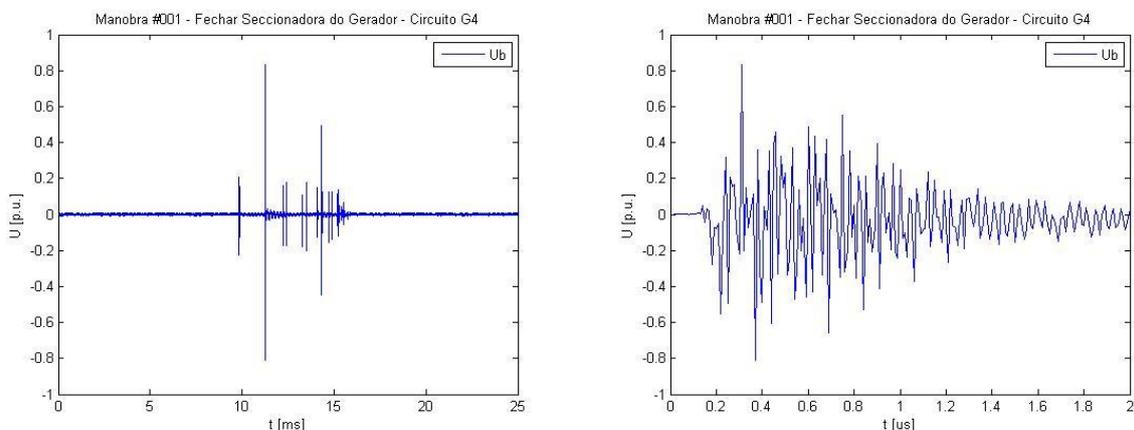


FIGURA 12. Fechamento 89G4 UH-GBM. a) Medição de todos os transitórios, b) Ampliação do maior transitório observado

A figura 13 apresenta o resultado de simulação da manobra de fechamento da chave seccionadora de grupo da unidade geradora 04. O ponto de observação dos transitórios é da Fase A, próximo ao terminal primário do transformador monofásico que compõe o banco de transformador da unidade geradora 04.

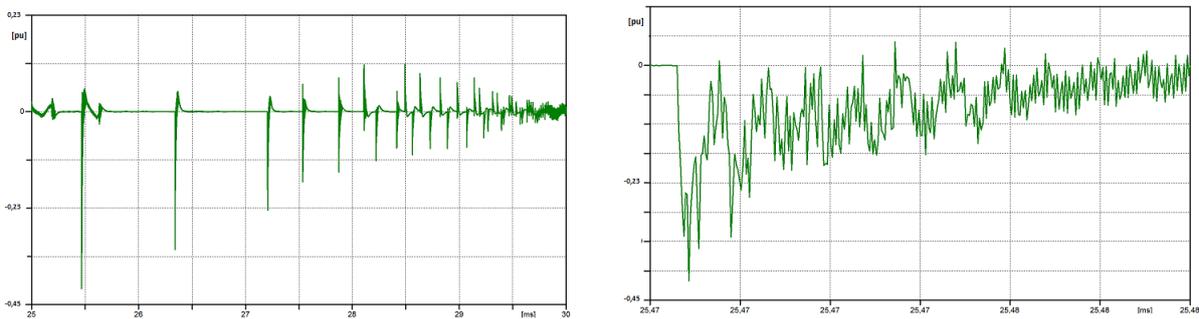


FIGURA 13. Simulação Fechamento 89G4 GBM

A figura 14 apresenta o resultado de medição da manobra de abertura da chave seccionadora de grupo da unidade geradora 04. Neste caso, a manobra é uma abertura, pois os pulsos de VFT aumentam.

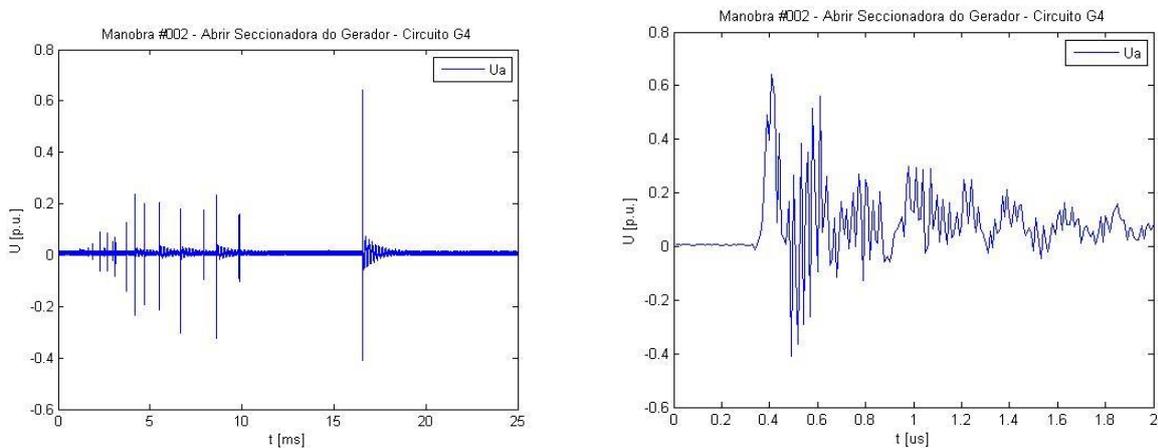


FIGURA 14. Abertura 89G4 GBM. a) Medição de todos os transitórios, b) Ampliação do maior transitório observado

A figura 15 apresenta o resultado de simulação da manobra de abertura da chave seccionadora de grupo da unidade geradora 04. O ponto de observação dos transitórios é da Fase A, próximo ao terminal primário do transformador monofásico que compõe o banco de transformador da unidade geradora 04.

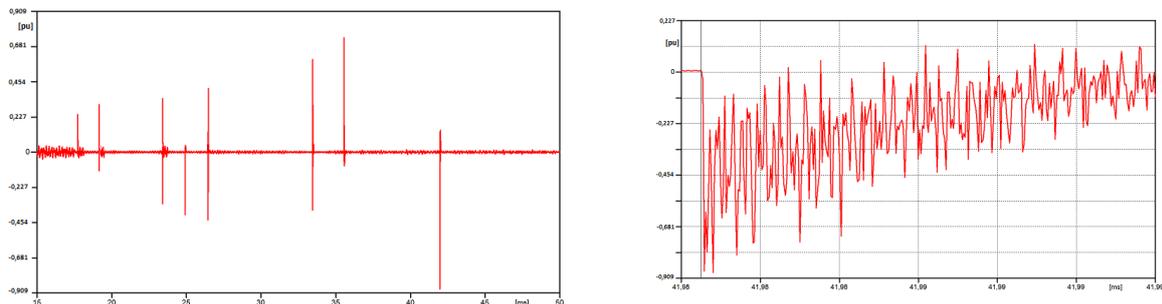


FIGURA 15. Simulação Abertura 89G4 GBM. a) Visão geral da simulação, b) Ampliação do segundo transitório observado

Na figura 16.a) está apresentado o resultado da simulação de abertura da chave seccionadora de grupo, do ponto de vista de um dos terminais secundário dos transformadores da UH-GBM. Ressalta-se que as sobretensões terminais no secundário do transformador, podem ser ainda mais elevadas [9], uma vez que o modelo considerado não representava a real resposta do transformador frente aos transientes que nele chegam.

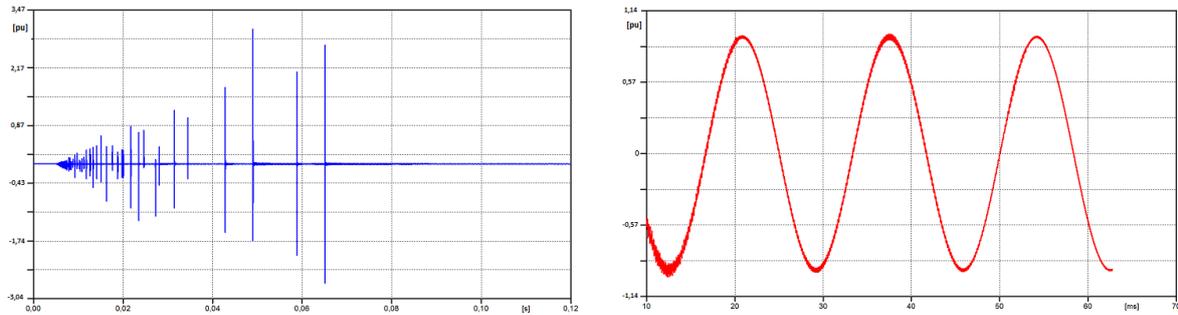


FIGURA 16. a) Resultado do ponto de vista do terminal secundário do transformador de simulação da manobra 1A. b) Simulação de fechamento de chave seccionadora com a UG excitada

Na figura 16.b está apresentado o resultado da simulação no terminal primário do transformador quando da abertura da chave seccionadora de grupo. A simulação considera o fechamento da chave seccionadora com a unidade geradora excitada e em fase com o sistema. O início da abertura da chave na simulação é aos 20 ms, onde pode-se observar que não ocorrem transientes.

5.0 - RESULTADOS DE MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES EM UH-GBM E UH-GJR

Na figura 17 está apresentado um resumo das medições de VFTO na GIS da UH-GM e UH-GJR, onde para cada manobra plotou-se o valor máximo e mínimo dos transientes medidos. Logo, em ambas GIS's existem VFTO's.

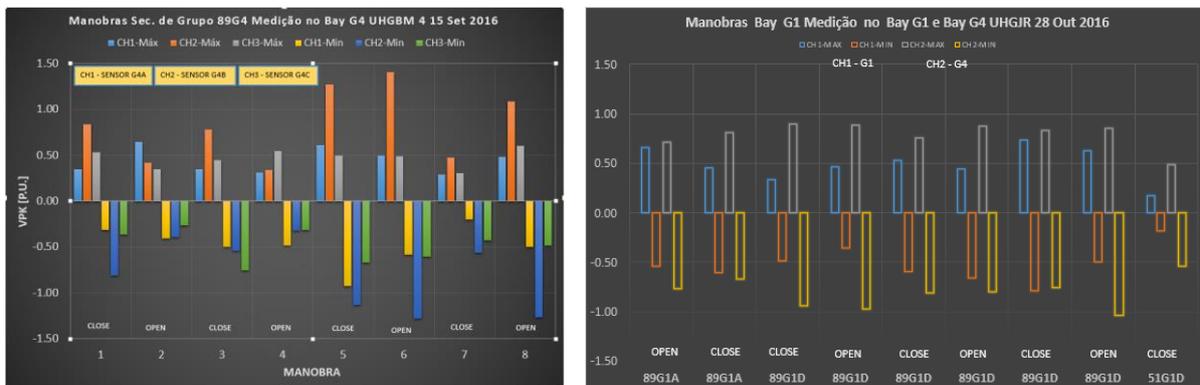


FIGURA 17. Medição de VFTO na GIS da UH-GBM e UH-GJR

6.0 - CONCLUSÃO

Concluimos, ainda que de forma preliminar, pois existem muitas análises a serem conduzidas devido a grande quantidade de dados já obtidos, especialmente relativos a validação da simulação digital. Ressaltamos o que segue:

- Os VFTO's medidos nas duas instalações apresentam valores típicos de 0.8pu. Valores mais elevados, como por exemplo, 1.5pu, seja talvez devido a carga armazenada quando se realizam várias manobras com curto espaço de tempo. As amplitudes estão sempre abaixo da suportabilidade do enrolamento;
- Dados preliminares na simulação do transformador indicam uma transferência de surtos VFTO para o secundário do transformador, acima da suportabilidade do mesmo, fato que não ocorreu no enrolamento primário. Como o item anterior, é necessário a comprovação deste através de medição;
- Na análise do MPU da UH-GBM, é necessário a revisão das manobras dos itens 1A, 1B, 2A e 2B, pois estas manobras geram VFTO's, pois a DDP não é zero=0. A proposta seria manobrar a seccionadora de grupo com a máquina excitada, caso seja exequível. Uma simulação conduzida desta maneira, produziu um resultado auspicioso, ou seja, quase nenhum VFTO. Resta comprovar na prática.
- A simulação é uma ferramenta importante, mas é necessário sempre a validação, sem a qual não teria sido possível chegar a estas conclusões. Com a simulação digital validada, pode-se revisar o Manual de Procedimento de Usina - MPU.

7.0 - AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de deixar registrado os nossos sinceros agradecimentos para as muitas pessoas que tornaram possível a realização deste estudo, especialmente aos colegas da Copel Geração e Transmissão, da Itaipu Binacional e da WEG Transformadores Ltda.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CIGRÉ Working Group D1.03: "Very Fast Transient Overvoltages (VFTO) in Gas-Insulated Substations", Brochure 519, December 2012.
- [2] CIGRÉ Working Group A2/C4.39: "ELECTRICAL TRANSIENT INTERACTION BETWEEN TRANSFORMERS AND THE POWER SYSTEM, Brochure 577A, April 2014.
- [3] Burch F.P. "On Potential Dividers for Cathode Ray Oscillographs", Phil. Mag. S.7, Vol. 13. Nº 86. April 1932.
- [4] Boggs S. A., Fujimoto N. "TECHNIQUES AND INSTRUMENTATION FOR MEASUREMENT OF TRANSIENTS IN GAS-INSULATED SWITCHGEAR", IEEE Transactions on Electrical Insulation Vol. EI-19 No.2, April 1984.
- [5] Meppelink Jan, Hofer P., "Design and Calibration of a High Voltage Divider for Measurement of Very Fast Transients in Gas Insulated Switchgear", 5th International Symposium on High Voltage Engineering, 1987.
- [6] IEC TS 61321-1, "High-voltage testing techniques with very fast impulses – Part 1: Measuring systems for very fast front overvoltages generated in gas-insulated substations," 1994.
- [7] MPU-UHEGBM-PO080, "Manual de Procedimentos de Operação de Usinas", COPEL, vigência 09/01/2017.
- [8] 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
- [9] 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 – Rio de Janeiro, RJ – 23 a 26 de novembro de 2014.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



José Arinos Teixeira Jr, nasceu Rio Claro SP em 1956. Graduado em Engenharia Elétrica e Mestrado em Física em 1979 e 1992 respectivamente pela UFPR. No LACTEC desde 1980, trabalha no laboratório de alta tensão, atualmente como pesquisador sênior na Divisão de Estudos Elétricos. É autor e coautor de várias contribuições técnicas sobre medição, ensaios em campo e laboratório, sensores e monitoramento de grandezas elétricas. CV: <http://lattes.cnpq.br/3815282729708572>



Marcio R. Sans, brasileiro, nascido em Curitiba, Paraná em 1980. Mestre em Engenharia Elétrica na UFPR (2013), possui especialização em Gestão de Projetos pela FAE Business School (2009), graduação em Engenharia Elétrica - Computação pela Universidade Positivo (2004) e curso técnico em Eletrotécnica UTFPR-PR(1999). Trabalha em projetos de P&D no Instituto LACTEC desde 2005, com foco nas áreas de ensaios em AT, medição, geração de modelos e automação de sistemas. CV: <http://lattes.cnpq.br/7087026394951146>



Celso Luiz de Lima Martins, brasileiro, nascido em Curitiba, Paraná em 1955. Formado na 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 Laboratório de Alta Tensão. CV: <http://lattes.cnpq.br/4110595126985583>



Marcelo A. Ravaglio, nasceu em Curitiba, Paraná, em 1957. Graduado em Engenharia Elétrica pela UFPR, em 1979, e mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial pelo CEFET-PR, em 1996. Desde 1980 trabalha no Laboratório de Alta Tensão do LACTEC e atualmente é pesquisador sênior na Divisão de Estudos Elétricos. É autor e co-autor de várias contribuições técnicas sobre ensaios em laboratório de AT, sensores e monitoramento de grandezas elétricas no campo e desenvolvimento de equipamentos para o sistema elétrico. CV: <http://lattes.cnpq.br/4110595126985583>



Ricardo Costa Scholz, brasileiro, nascido em Cascavel, Paraná em 1984. Graduado em Engenharia Elétrica pela UFPR (2010) e Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais pela UFPR (2013). Atualmente é Engenheiro Eletricista do Laboratório de Alta Tensão e Pesquisador no LACTEC. Possui experiência com engenharia de Alta Tensão e atua em projetos de pesquisa e desenvolvimento desde 2010. Professor de cursos de educação superior desde 2014. CV: <http://lattes.cnpq.br/2646530402093190>



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. CV: <http://lattes.cnpq.br/6049316115897758>

Germano Fröhlich Moraes, Engenheiro Eletricista pela UTFPR (2006). Área de atuação: Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Subestações, Alta e Extra-alta tensão. CV: <http://lattes.cnpq.br/5253279815266764>

Carlos Augusto A. Fontanella, Engenheiro Eletricista (1984) pela UFPR, com especialização em Materiais para o Setor Elétrico (UFPR- 1998) e Gerência da Engenharia de Manutenção (CEFET- 2001). Atualmente é Gerente da Divisão de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Subestações da Copel Geração e Transmissão. CV: <http://lattes.cnpq.br/7096771063946852>