



XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CB/GGH/18

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO -001

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

ANÁLISE DE DESCARGAS PARCIAIS, TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTRIA, TANGENTE DE DELTA E HISTÓRICO DA MÁQUINA: UMA ABORDAGEM ALÉM DO ENVELHECIMENTO DO ISOLANTE

Rafael Freitas Ferreira(*)
ELETROSUL S.A

Helio de Paiva Amorim Junior
CEPEL

Thiago Baptista Rodrigues
CEPEL

RESUMO

A análise de descargas parciais é um recurso importante para análise de qualidade e diagnóstico de sistemas de isolamento. Tão importante quanto a magnitude da atividade de descargas parciais é a tendência desta atividade ao longo da vida do isolamento. Em isolamentos novos, entretanto, algumas vezes este diagnóstico fica prejudicado devido ausência de dados para montar uma tendência. Este artigo vai mostrar o estudo de caso de duas usinas hidrelétricas em que os ensaios complementares de tangente de delta, capacitância, descargas parciais offline e temperatura de transição vítrea deram subsídios para o diagnóstico do sistema de isolamento e mostraram fatores importantes, fragilidades, que devem ser acompanhadas ao longo do tempo.

PALAVRAS-CHAVE

Descargas Parciais, Temperatura de Transição Vítrea, Tangente de Delta, Capacitância, Isolamento.

1.0 - INTRODUÇÃO

De 2012 a 2016 a Eletrosul inseriu no sistema elétrico nacional um montante de 2,1 GW de potência instalada, proveniente de fontes hídrica, eólica e solar. Ao se tratar de usina hidrelétrica (UHE) e pequena central hidrelétrica (PCH), a empresa é responsável por 522,5 MW (1). Atualmente a empresa opera e mantém quatro centrais hidrelétricas.

A UHE do caso 1 possui duas máquinas síncronas movidas por turbina Kaplan de 24 MW cada. Nos anos de 2015 e 2016, dois anos após a entrada em operação comercial, as turbinas tiveram que passar por reformas significantes. Na oportunidade foram realizados ensaios de capacitância, tangente de delta ($Tg \delta$) e descargas parciais (DP) offline. Os resultados serão apresentados e discutidos neste artigo.

A UHE do caso 2 possui duas máquinas síncronas movidas por turbina Kaplan de 38,5 MW cada. Durante o comissionamento da unidade, muitas barras, que já estavam inseridas nas ranhuras do estator, queimaram nos ensaios de hipot AC e DC. Após estes eventos, diversos ensaios foram realizados em laboratório independente trazendo características interessantes sobre o isolamento do estator da máquina, que serão apresentadas também neste artigo.

2.0 - UHE CASO 1

Na UHE do caso 1 foram realizados vários ensaios no sistema de isolamento da máquina. O ensaio de curto entre espiras nas bobinas dos polos demonstrou a necessidade de se rebobinar alguns dos polos. No estator, também foi

(*) Rua Deputado Antônio Edu Vieira, n° 999 – CEP 88.040-001 Florianópolis, SC – Brasil
Tel: (+55 48) 3231-7826 – Fax: (+55 48) 3234-8950 – Email: rafael.ferreira@eletrosul.gov.br

realizado ensaio de capacitância, tangente de delta e descargas parciais offline. Os resultados são mostrados a seguir.

No estator da UHE os ensaios citados foram realizados pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL. Para os ensaios de $Tg \delta$ e Capacitância utilizou-se uma fonte de tensão capaz de alimentar o reativo de uma fase do estator, um capacitor padrão, um capacitor variável e o software de análise IMA-CTD, desenvolvido pelo CEPEL. Para o ensaio de DP offline além da fonte, se utilizou um acoplador de 880 pF e o software de análise IMA-DP, também desenvolvido pelo CEPEL. As máquinas da usina possuem isolamento classe F e a tensão de trabalho é de 13,8 kV.

2.1 Ensaios de Capacitância e Tangente de Delta

A medição da capacitância do estator pode detectar problemas como deterioração térmica ou saturação da isolamento por umidade no interior do isolamento. Este é o ensaio mais realizado em máquinas de pequeno porte, inclusive em fábrica, uma vez que este ensaio determina quando a resina já está curada (2). Alguns processos de deterioração alteram as características de isolante. O processo de delaminação, por exemplo, usualmente proveniente de superaquecimento, insere ar (vazios, bolhas) no isolante. A constante dielétrica do ar é menor que a do isolante, o que provoca uma degradação na característica do mesmo – resultando assim em um decréscimo da capacitância. Por outro aspecto, a capacitância do isolamento pode aumentar devido à contaminação condutiva na cabeça das bobinas. A sujeira condutiva aumenta a área do capacitor equivalente das bobinas.

O fator de dissipação (FD), também chamado de tangente de delta determina a perda no dielétrico. As perdas no dielétrico aumentam tanto com a deterioração térmica (superaquecimento que gera vazios no isolante), ou com acúmulo de sujeira superficial do isolante. Além da manutenção preventiva, este ensaio é feito em fábrica para determinar se a resina está curada. Um isolante ideal deve funcionar como um capacitor ideal. Quando este for submetido a uma tensão senoidal, apenas uma corrente reativa capacitiva irá existir no circuito, esta corrente é adiantada de 90° em relação à tensão. Na prática, os materiais utilizados nos isolantes de gerador (epóxi, mica, asfalto) esquentam um pouco quando submetidos a uma tensão AC, i.e, ao invés de armazenar toda energia, uma pequena parte é dissipada. Como resultado deste processo de aquecimento as perdas no dielétrico vão aumentar ao longo do tempo (2).

As perdas no isolante podem ser medidas através da $Tg \delta$ utilizando uma ponte resistiva-capacitiva, onde um resistor e um capacitor variável são ajustados para prover a mesma tensão e ângulo medida através das bobinas estatóricas. Então a $Tg \delta$ é calculada utilizando os elementos R e C que dão a tensão nula na ponte. Este método facilmente alcança 0,01% de precisão (4). O esquemático da ligação é mostrado na Figura 1.

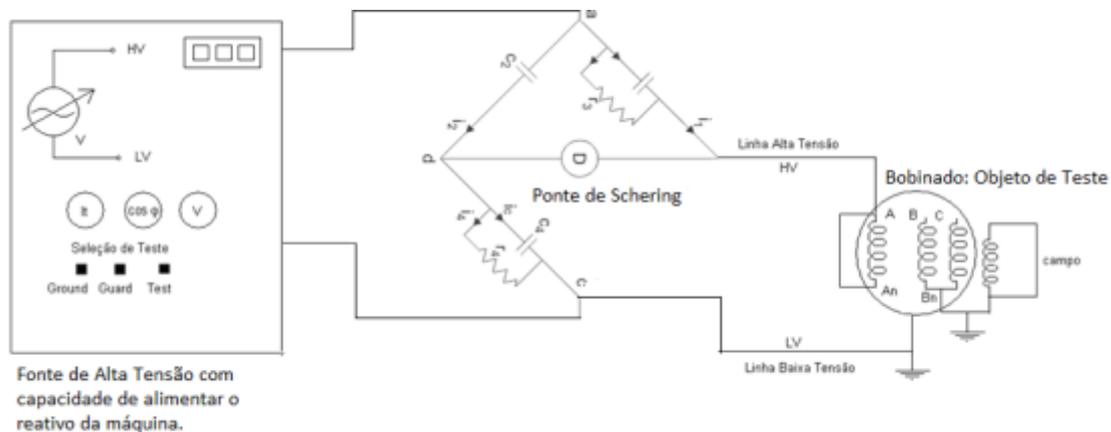


FIGURA 1 – Esquema de Ligação do Medidor de FD/Capacitância

Na UHE do caso 1 foram medidas, através do IMA-CTD, a $Tg \delta$ e Capacitância de cada fase. O resultado do ensaio é mostrado na Tabela 1.

Isolamentos modernos de classe F de epóxi-mica, normalmente apresentam $Tg \delta$ por volta de 0,5 % para estator completamente montado (2). A UHE do caso 1 apresenta $Tg \delta$ acima de 2,7% nas três fases (Para tensão nominal de 8 kV entre fase e neutro). Na avaliação de capacitância e $Tg \delta$ é importante avaliar os valores ao longo do tempo (4), porém com valores tão altos de $Tg \delta$ para o isolamento da máquina 1 da UHE do caso 1, acentua-se a necessidade de monitoramento constante e uma rotina mais restrita de ensaios nesta planta.

TABELA 1 – Resultados das Medições de Capacitância e Tangente de Delta (3)

Máquina	Fase	Tensão Aplicada [kV]	Capacitância [nF]	Tg δ (10^{-2})
UG01	A	2	215,5	1,635
		4	216,5	2,030
		6	217,2	2,414
		8	218,0	2,766
	B	2	215,3	1,659
		4	216,5	2,085
		6	217,2	2,474
		8	218,5	2,850
	C	2	215,4	1,593
		4	216,5	1,978
		6	217,1	2,391
		8	218,0	2,718

2.2 Ensaio de Descargas Parciais Off-Line

Descargas Parciais são descargas elétricas que apenas, parcialmente, rompem o isolamento entre condutores (6). Usualmente, DP vai se desenvolver em localização onde o isolante não é homogêneo. Devido ao estresse elétrico localizado, pode haver condução elétrica parcial pelo isolante. Continuando os ensaios de alta tensão na UHE do caso 1, também foi realizado ensaio de DP offline na unidade geradora 1. Problemas de fabricação e envelhecimento natural ou acelerado podem ser fontes de DP.

O aparato utilizado foi uma fonte de tensão capaz de suprir a energia reativa da máquina e um acoplador de 880 pF. O sistema IMA-DP, é um sistema de medição de DP em baixa frequência com tamanho de banda de aproximadamente 1 MHz. A principal vantagem deste sistema é uma excelente sensibilidade, que implica num capacidade de medição além das proximidades do acoplador. A principal desvantagem seria que o mesmo também fica mais sujeito a ruídos, se comparado com um sistema de medição em alta frequência. Os resultados do IMA-DP são dados em Volt. Alternativamente também foi utilizado o sistema da Power Diagnostix, cujo resultado é fornecido em Coulomb.

Na Figura 2 é apresentado o diagrama de fase resolvida (PRPD) da Power Diagnostix para tensão de insepção (tensão na qual a atividade de DP começa a se manifestar), que no caso foi de 4 kV, e para a tensão nominal.

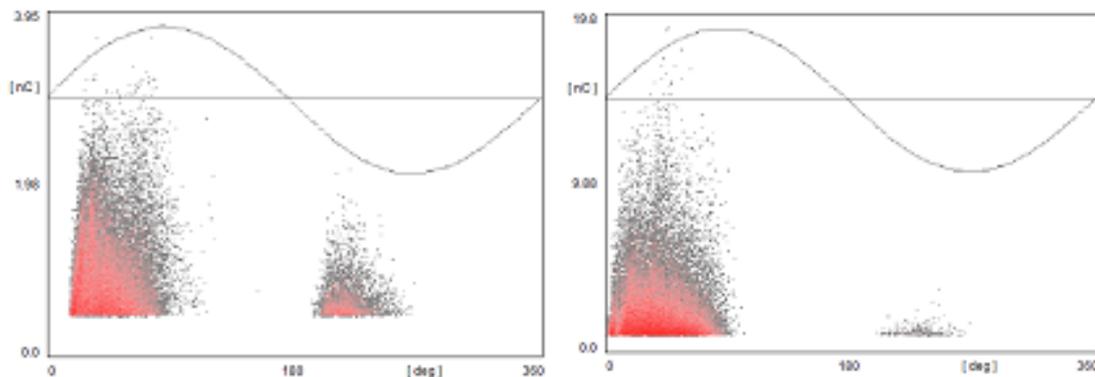


FIGURA 2 – Diagrama PRPD da Fase C: 4 kV (a esquerda) e 8 kV

Descargas parciais de polaridade negativa ocorrem na primeira metade do semiciclo positivo. Durante a elevação positiva da tensão, todos os componentes capacitivos começam a carregar. Quando a tensão de insepção é atingida em um determinado elemento capacitivo do isolante (vazios no isolante, delaminação entre lâminas do isolante, descolamento entre isolante e núcleo, etc.) o fenômeno de DP se manifesta. Já as descargas parciais de polaridade positiva se manifestam na primeira metade do semiciclo negativo, gerando efeito de carregamento e análogo. Logo, observa-se na Figura 2 que as descargas parciais de polaridade negativa, as que ocorrem na primeira metade do semiciclo positivo, foram apresentadas em módulo.

A intensidade de DP no semiciclo positivo é bem maior que no negativo. Quando as descargas parciais negativas são maiores que a positiva é um indicativo que o fenômeno ocorre com maior intensidade entre o cobre e o isolante (8). Este comportamento se repete nas três fases, sendo que a da fase C é o de maior intensidade. Observando a polaridade das descargas parciais é possível inferir sobre a causa raiz, a intensidade do fenômeno e a taxa de repetição vão representar a severidade do problema (8). A Tabela 2 apresenta o resultado do ensaio para as três fases.

TABELA 2 – Resultado do Ensaio de Descargas Parciais Offline

UG01	2 kV	4 kV	6 kV	8 kV
Fase A	Não Detectado	790 pC	4880 pC	7370 pC
Fase B	Não Detectado	1140 pC	7700 pC	13500 pC
Fase C	Não Detectado	2600 pC	13500 pC	14700 pC

A atividade de descargas parciais entre o condutor e o isolante é gerada em bolsões de ar entre o cobre e o isolante principal. O processo de degeneração do isolante é sempre progressivo e resultado de sobreaquecimento ou esforços mecânicos extremos que em ambos os casos conduz a separação de lâminas do isolante, que vai aumentar a atividade de DP. Trata-se de um processo de degradação acelerado (7).

Na Figura 3 é mostrado o diagrama PRPD da mesma medição, porém os dados foram adquiridos pelo IMA-DP. As medições são exibidas em volts. Na Figura 4, é mostrado o histograma de pulsos por amplitude e por fase.

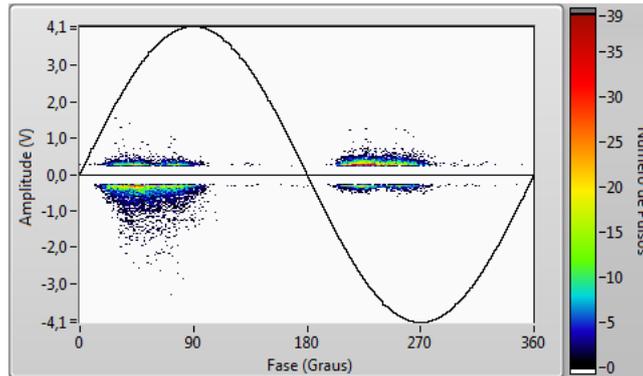


FIGURA 3 – Diagrama PRPD da Fase C 8 kV – IMA-DP

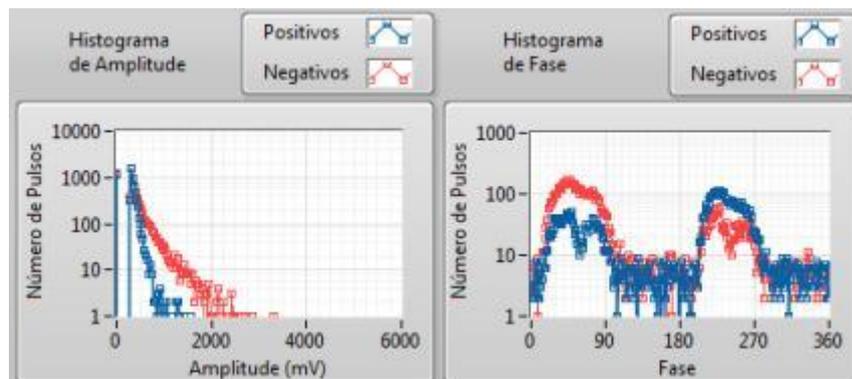


FIGURA 4 – Histograma de Amplitude de Pulsos (a esquerda) e de Fase

De acordo com os resultados encontrados com o IMA-DP, na fase C, a máxima amplitude de descarga parcial negativa foi de 3,3 V.

2.3 Conclusões Sobre os Ensaios na UHE do Caso 1

Foi verificado que a tangente de delta é muito alta se for levado em consideração máquinas de isolamento moderno de mesmo porte em que o isolante tem pouco tempo em serviço. As perdas foram confirmadas no ensaio de descargas parciais offline, que inferem na causa raiz como uma delaminação severa entre o cobre e o condutor principal. Esta delaminação leva a um fator de perdas elevado no isolante. Os ensaios são complementares e corroborativos. Diante de níveis tão elevados de DP e $T_g \delta$, se vê a necessidade da implantação de um plano de ação efetivo. Deve-se verificar a evolução destes parâmetros e identificar se o processo de degeneração já está acelerado ou trata-se de uma característica do isolante.

3.0 - UHE PASSO CASO 2

Após as diversas falhas ocorridas nos ensaios de hipot AC e DC durante o comissionamento, a Eletrosul enviou algumas barras estatóricas para serem analisadas em laboratório independente. Foram analisadas quatro amostras: uma barra nova, uma barra que falhou e duas barras que já estavam inseridas e que não falharam no ensaio de

hipot. Diversos ensaios foram realizados e alguns serão apresentados neste artigo. Em seguida são apresentados os resultados dos ensaios de DP online realizados trimestralmente na usina. Semelhantemente a UHE do caso 1, as máquinas da usina possuem isolamento classe F e a tensão de trabalho é de 13,8 kV.

3.1 Histórico de Montagem

Como onze barras falharam, duas na unidade 1, após o último hipot AC e nove na unidade 2, ainda em fases anteriores, muitas substituições de barras foram realizadas até a decisão de enviar as amostras para análise laboratorial. Estas trocas de barras ao invés de serem feitas com máquina de brazagem, foram feitas com chama de oxi-acetileno. Ainda na fase de montagem, também foi detectado um sobressalto na chaparia do estator da unidade 2, bem na saída da ranhura. Nesta região de transição a bobina está susceptível a maiores índices de vibração.

Dos diversos ensaios realizados em fábrica, dois chamaram a atenção: o de percussão e o de temperatura de transição vítrea.

3.2 Resultado dos Ensaio Laboratoriais

Na Figura 5 é apresentado o protocolo do ensaio de percussão nas barras.

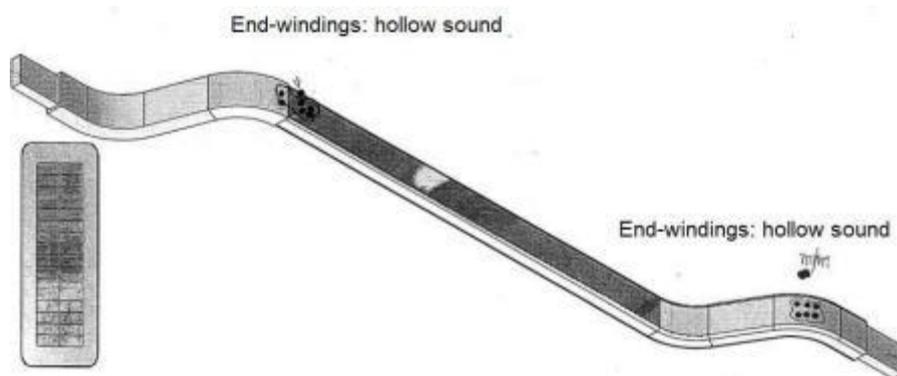


FIGURA 5 – Protocolo do Ensaio de Percussão nas Barras

O som oco no final das bobinas foi detectado nas barras usadas – sadias e falhadas. O som oco não foi detectado na barra nova. O universo amostral é pequeno, mas pode-se inferir que os procedimentos de aquecimento com chama de oxi-acetileno para realizar a conexão entre barras deve ser evitado.

Outra questão interessante sobre este sistema de isolamento foi a alta temperatura de transição vítrea (T_G). Define-se T_G como a temperatura à qual a resina muda de um estado cristalino rígido para um estado mais amorfo. Espera-se que a T_G seja um pouco acima da temperatura da classe. Porém, na UHE do caso 2 a T_G encontrada foi de 240 °C. Isto quer dizer que, se por um lado o isolante seria mais capaz de absorver esforços elétricos, por outro, seria menos capaz de absorver esforços mecânicos, seria um isolante mais quebradiço (2).

A combinação de sistema de isolamento quebradiço e um sobressalto na chaparia próximo a cabeça de bobina pode ter sido um fator complicador para tantas falhas no hipot durante o comissionamento.

Normalmente, o epóxi se deteriora primeiro com o tempo de operação, e a perda das características mecânicas leva delaminação do isolamento uma vez que, as características de aglutinação do epóxi são relativamente fracas. O envelhecimento do sistema de isolamento vai levar ao aumento da T_G (2)(9).

Na Figura 6 é apresentado o resultado do ensaio de T_G . O ensaio foi realizado pelo método DSC - *Differential Scanning Calorimetry*.

No laboratório também foi realizado o ensaio de $T_g \delta$ em função da temperatura – ver Figura 7. A temperatura onde a $T_g \delta$ atinge o pico é a temperatura de transição vítrea (9).

O ensaio de $T_g \delta$ em função da temperatura é corroborativo com o ensaio de T_G . A temperatura de transição vítrea na barra, verificada em diversas amostras, foi de 240 °C – ver Figura 6. O ensaio de $T_g \delta$ só foi feito até 180 °C, mas verifica-se que a $T_g \delta$ ainda tinha espaço para crescimento e provavelmente atingiria o pico em uma temperatura acima da classe, mais provavelmente próximo a 240 °C que é a temperatura de transição vítrea do isolante.

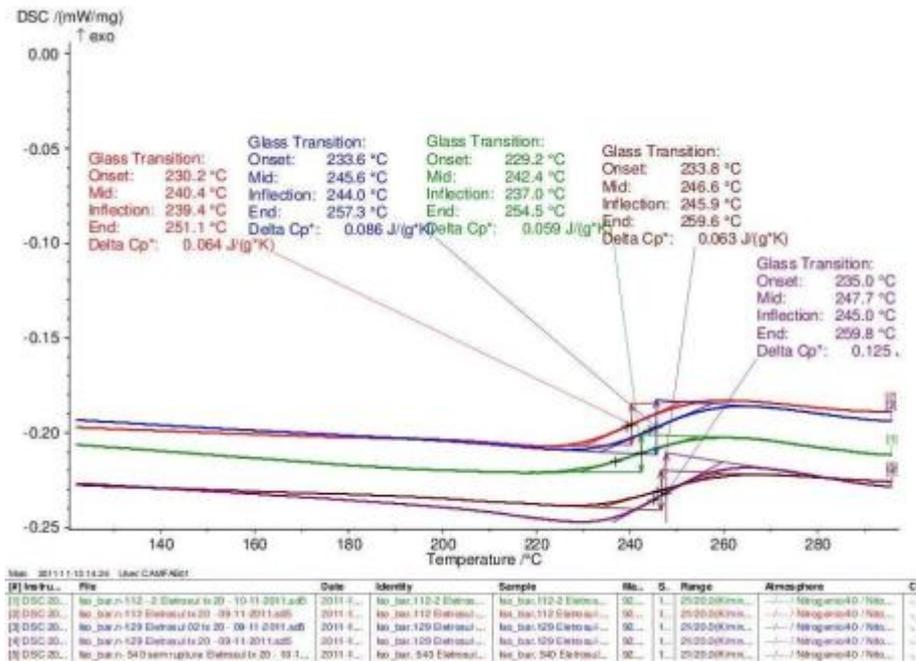


FIGURA 6 – Resultado do Ensaio de Temperatura de Transição Vítre

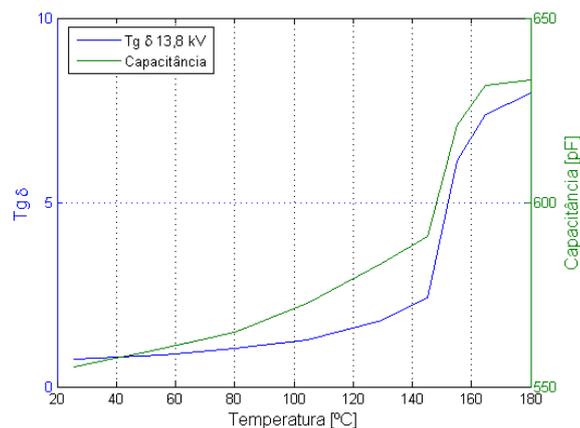


FIGURA 7 – Variação da Tg δ e Capacitância com a temperatura numa barra nova

3.3 Ensaio de Descarga Parciais On-Line

A UHE do caso 2 dispõe de acopladores capacitivos para medição online de descargas parciais. Os geradores possuem apenas um circuito por fase e possuem dois acopladores de descargas parciais por fase – 80 pF cada. A tecnologia utilizada para medição é em alta frequência, baseada na diferença do tempo de voo direcional. As medições são realizadas a cada três meses de acordo com as recomendações da IEC/TS 60034-27-2 (7). O aparato utilizado é o PDA da Iris Power.

A cada dois anos, a IRIS Power divulga e classifica resultados de ensaios de DP. A empresa dispõe de uma imensa massa de dados. Para hidrogeradores resfriados a ar, é esperado que o nível de DP na frequência de 10 pps (pulsos por segundo) seja inferior a 250 mV (10). Ainda, de acordo com o mesmo informe da IRIS, 90% dos hidrogeradores resfriados a ar possuem medições inferiores a 321 mV. Na Figura 8 é apresentado um histograma de amplitude de pulsos e um diagrama PRPD da UHE do caso 2.

Verifica-se no diagrama PRPD da fase B da UG#02 descargas parciais provenientes de vazios dentro do isolante. Segundo o estudo da IRIS, ainda não há valores preocupantes na atividade de DP nesta fase. Como o padrão de DP varia com a carga e a temperatura a empresa adotou o critério de realizar quatro tipos de medições:

- a. C1 Potência ativa nominal e bobinado quente: Neste ensaio o gerador está com potência ativa nominal e já opera nesta condição há algumas horas. O isolante está quente e dilatado.

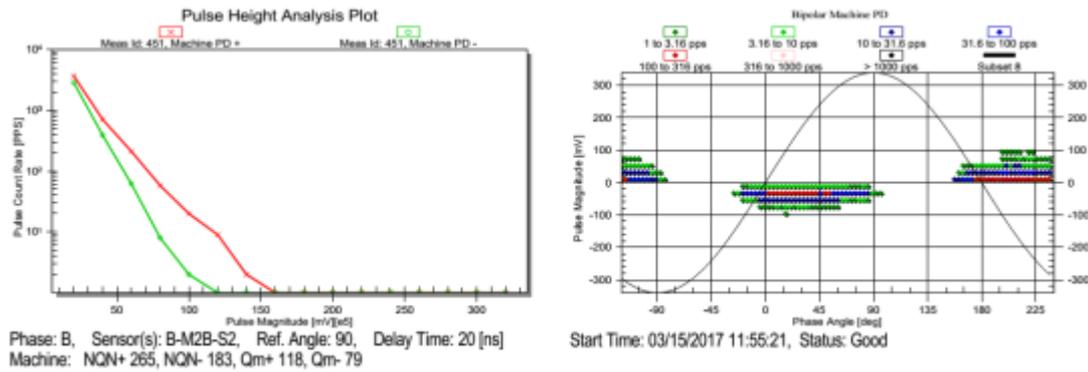


FIGURA 8 – Histograma de Amplitude de Pulsos (a esquerda) e PRPD da fase B UG#02

- b. C2 Potência ativa mínima e bobinado quente: Reduz-se a potência do gerador da nominal para mínima possível e assim inicia-se o ensaio de DP. Nesta condição a temperatura do bobinado é a mesma em relação a quando o gerador operava na potência nominal.
- c. C3 Potência ativa mínima e bobinado frio: Após sincronizar a máquina com carga mínima, realiza-se a medição de descargas parciais, nesta condição o estator ainda está frio.
- d. C4 Potência ativa nominal e bobinado frio: Logo após o ensaio anterior, eleva-se carga até a nominal e nesta situação, tem-se a temperatura do bobinado ainda frio.

Na Tabela 3, são apresentadas as últimas medições de DP realizadas na UG#02.

TABELA 3 – Últimas Medições Realizadas na UHE – UG#02

UG02		T [°C]	UR %	P [MW]	QM+ [mV]			QM- [mV]		
Data	Cond.				A	B	C	A	B	C
Jul/16	2	82	51	4,20	35	138	37	37	119	38
Jul/16	3	44	45	4,40	37	77	19	38	75	38
Jul/16	4	45	45	38,50	39	88	19	39	76	19
Mar/17	1	88	60	37,54	38	118	0	39	79	0

Atividade excessiva de DP de polaridade positiva provavelmente é proveniente de vazios no isolante entre o isolamento e o ferro do estator (descargas nos slots) (8). Logo, ao comparar ensaios na C1 e C2, onde se tem o gerador na temperatura nominal de trabalho mas com cargas bem diferentes, é possível verificar o quanto a atividade de DP aumenta com o aumento da carga. Se não existir um aumento da atividade de DP de polaridade positiva pode se inferir uma boa fixação das cunhas. Verifica-se que a carga não influencia na atividade de DP.

3.4 Conclusões Sobre os Ensaio na UHE do Caso 2

Com base no histórico da máquina apresentado em seções anteriores, na teoria conhecida de DP, a partir da Tabela 3, é possível identificar pontos interessantes a serem analisados.

Como existe um sobressalto na chaparia do estator da máquina associado a um isolante com temperatura de transição vítrea elevada, um fato relevante a ser considerado é o aumento da atividade de DP positiva, aquela que ocorre no semiciclo negativo e indica atividade entre o núcleo estatórico e o isolante versus o aumento da umidade relativa do ar. Se, em ensaios de DP offline, a atividade positiva aumentar com o aumento da umidade, existe a possibilidade de estar havendo um trilhamento nas barras estatóricas.

Foi mencionado também que, muitas barras sofreram um processo de conexão e desconexão, possivelmente danoso, quando se utilizou chama de oxi-acetileno ao invés de máquina de brasagem. Foi mostrado na Figura 5, um descolamento do isolante do cobre exatamente na saída da ranhura, próximo ao local que recebeu esta chama. Foi verificado na fase A da UG#01 – ver Figura 9, a presença de DP de polaridade negativa maior que a positiva, ainda que em magnitude baixa, indica uma preponderância de descargas entre o isolante e o cobre condutor.

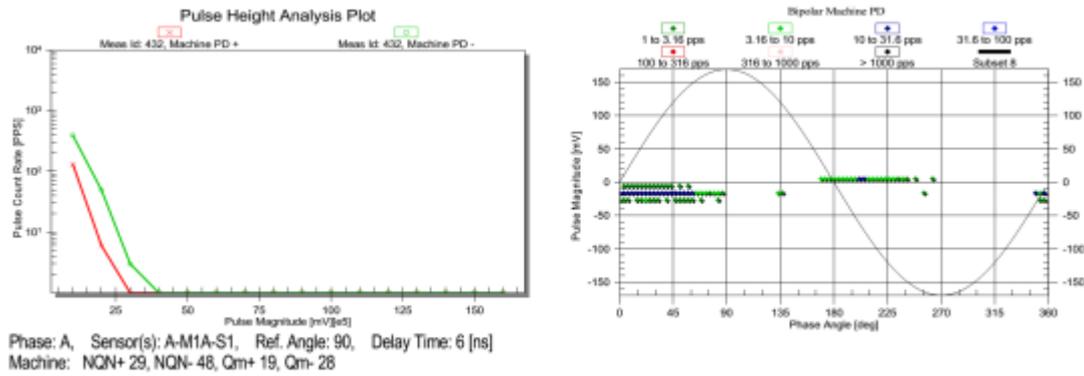


FIGURA 9 – Histograma de Amplitude de Pulsos (a esquerda) e PRPD da fase A UG#02

4.0 - CONCLUSÕES

O estudo apresentou dois tipos de hidrogeradores da Eletrosul de UHE's construídas a menos de cinco anos. Na primeira delas, foi apresentado resultados dos ensaios de capacitância, tangente de delta e descargas parciais offline. Através de resultados corroborativos entre estes ensaios, pôde-se inferir sobre a baixa qualidade do isolante utilizado e a necessidade imediata de um plano de ação para planta como implantação de sistema online de aquisição de DP e/ou repetições periódicas dos ensaios citados, com intuito de avaliar a degradação ao longo do tempo. A atividade de DP é um fenômeno de degradação progressiva. Pelos altos índices de DP apresentados, espera-se que a evolução da atividade seja rápida.

Para outra usina que já possui monitoramento online de DP, foi apresentada uma série de ensaios realizados antes de a máquina entrar em operação, que foram motivados por diversos de estouros de barras nos ensaios de hipot realizados nos procedimentos de montagem. Os ensaios realizados mostraram que o isolante tem uma alta temperatura de transição vítrea que foi parcialmente confirmada pelos em ensaio de tangente de delta em função da temperatura. Neste último, verifica-se que o pico da tangente de delta é superior a 180 °C e provavelmente atingiria a temperatura de transição vítrea em 240 °C. Com o isolante menos suscetível a esforços mecânicos a companhia adotou a análise de DP em diversas condições a fim de associar as medições de DP com o histórico conhecido da máquina. O artigo mostrou a importância de relacionar diversos ensaios para montar um diagnóstico completo do problema analisado e reforça a importância da análise temporal dos parâmetros de DP e Tg δ .

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Eletrosul Centrais Elétricas S.A. (18/03/2017). Informações da Geração [Online]. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/nosso-negocio/geracao/geracao>.
- (2) Stone, G. C., Boulter, E. A., Culbert, I., & Dhirani., H. (2004). Electrical Insulation for Rotating Machines - Design, Evaluation, Aging, Testing and Repair. New Jersey: John Wiley & Sons.
- (3) Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel. Medição e Avaliação da Unidade Geradora N°1 por meio das Descargas parciais e Tangente de Delta. 2016.
- (4) IEEE Std 286-2000: IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-up of electric machinery Stator Coil Insulation, 2000.
- (5) IEEE Std 1434-2000: IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery, 2000.
- (6) IEC/TS 60034-27: Rotating electrical machines - Part 27: Off-line Partial Discharges Measurements on the Stator Winding Insulation of Rotating Electrical Machines, 2006.
- (7) IEC/TS 60034-27-2: Rotating electrical machines - Part 27-2: On-line Partial Discharges Measurements on the Stator Winding Insulation of Rotating Electrical Machines, 2012.
- (8) Gabe Paoletti, Alex Golubev: Partial Discharge Theory and Applications to Electrical Systems. IEEE IAS Pulp and Paper Industry Conference, 1999.

(9) Yanpeng Hao, Zhidong Jia, Xiongwei Jiang, Naikui Gao, Hengkin Xie: The changes of mechanical properties of Epoxi/Mica insulation materials in aging process. Properties and applications of dielectric materials, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, 2000.

(10) Warren, V.: Partial discharge testing: A progress report. Rapid Deterioration – PD Trends. IRMC, 2013.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

	<p>Rafael Freitas Ferreira – Nascido em Recife, 1985, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2008). Atualmente trabalha como engenheiro de manutenção da geração na Eletrobrás-Eletrosul, atendendo aos seguintes sistemas: geradores hidráulicos, compensadores síncronos, parques eólicos e usinas fotovoltaicas. Também é responsável pela análise de dados de manutenção preventiva e corretiva daqueles sistemas, avaliando a qualidade da manutenção, ensaios de comissionamento e desempenho de máquinas síncronas. Na parte pós-operacional, analisa dados de geração de fontes alternativas fazendo análise de desempenho destas fontes de energia da Eletrosul.</p>
	<p>Helio de Paiva Amorim Junior - Doutor em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2001), mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1997) e graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Taubaté (1993). Atualmente é pesquisador III do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), órgão das Empresas Eletrobrás desde 1997. Possui experiência na área de diagnóstico de equipamentos elétricos, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento de equipamentos elétricos de alta tensão, medição e análise de descargas parciais, inteligência artificial e confiabilidade.</p>
	<p>Thiago Baptista Rodrigues – Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2004) e mestre em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2006). Atualmente é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobrás (CEPEL), atuando nas seguintes áreas: desenvolvimento e análise de novas tecnologias em sistemas elétricos de potência, medição e análise de descargas parciais em equipamentos elétricos, ensaios elétricos em campo ou laboratório, diagnóstico de equipamentos elétricos, e simulações matemáticas e computacionais de fenômenos elétricos.</p>