



GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

MONITORAMENTO, ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS SENSÍVEIS DURANTE OCORRÊNCIAS DE SOBRETENSÕES DINÂMICAS EM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

NELSON CLODOALDO DE JESUS(1); GUSTAVO RODRIGUES DOS SANTOS(1); WILLIAN SOUZA DE JESUS(1); THIAGO PEREIRA FRANCO(1); LUIZ MARLUS DUARTE(1); JOÃO LUCAS GONÇALVES NASCIMENTO(1)
GSÍ ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA(1)

RESUMO

Este informe técnico tem como objetivo apresentar os resultados da avaliação do desempenho de um sistema elétrico e análise das possíveis causas envolvendo diversas falhas ocorridas em equipamentos eletrônicos sensíveis, instalados nos painéis de comando, controle e proteção de religadores automáticos, responsáveis pela conexão com os sistemas de geração de energia elétrica instalados em um complexo eólico.

PALAVRAS-CHAVE

Medições, Qualidade da Energia Elétrica, Equipamentos Sensíveis, Sobretensões, Geração de Energia Eólica.

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema em análise faz parte de um complexo de geração de energia eólica atualmente em operação. Desde a fase de comissionamento e após a etapa de entrega para a operação comercial, apresentou diversas ocorrências e falhas de operação devido a queimas de equipamentos, tais como supressores de surto (SS), fontes de alimentação (UPS) e relés de proteção, por um período consecutivo de aproximadamente cinco meses. As falhas desses equipamentos ocorriam especialmente em componentes utilizados nos sistemas de controle e comando de baixa tensão em 230 V, ou seja, nos painéis de alimentação de controle dos religadores, instalados próximos à base dos aerogeradores (1).

O histórico das falhas na configuração original de alimentação do sistema de comando do religador, ou seja, com a presença de supressores de surto, indicou que os danos se concentraram nos meses iniciais de sua operação. Neste intervalo, foram totalizadas dezenas de falhas relacionadas especificamente aos problemas operacionais vinculados aos religadores, ou seja, equipamentos e componentes internos aos painéis de comando dos religadores ao longo de todo o parque eólico. Destaca-se ainda que, além dessas falhas, os próprios sistemas de controle dos aerogeradores também sofreram diversas falhas verificadas nos equipamentos, tais como fontes de alimentação.

Este fato indica a forte possibilidade de sobretensões no sistema elétrico, afetando diretamente os equipamentos sensíveis durante perturbações, tanto para os instalados nos sistemas de controle das máquinas quanto para os instalados diretamente nos painéis de controle dos religadores. Em função da grande instabilidade na operação, todos os supressores de surto (inicialmente instalados como forma de proteção na entrada dos painéis dos religadores) foram substituídos por transformadores de isolamento do tipo ferorrressonante (com tap de -20%), em conjunto com dispositivos de proteção contra surtos (DPS).

A partir desta alteração na configuração do painel de controle dos religadores, as falhas foram reduzidas significativamente, mostrando certa melhoria nas condições de alimentação dos equipamentos instalados nos painéis dos religadores. Diante do exposto, foram realizadas medições de qualidade de energia durante testes de manobras de energização e desligamentos dos religadores, simulações de entrada em operação e paradas das máquinas, para verificação e caracterização de possíveis sobretensões de modo a obter-se o real comportamento dinâmico do sistema. Este trabalho apresenta uma avaliação do desempenho do sistema elétrico, com o objetivo de determinar a causa raiz das falhas ocorridas em massa nos equipamentos.

2.0 - SOBRETENSÕES EM SISTEMAS ELÉTRICOS

As sobretensões podem ser divididas basicamente em sobretensões de origem interna ou externa aos sistemas elétricos (2). Além desta classificação, e de acordo com o tipo, valores e características de sua duração, têm-se as sobretensões denominadas de transitórias, temporárias e harmônicas (3).

A ocorrência de sobretensões pode ter como origem diversos fatores predominantes, podendo resultar em falhas de operação de acordo com os requisitos adotados para a coordenação de isolamento e impactos desses eventos (4).

Sobretensões Transitórias normalmente se manifestam com altas frequências e curtíssima duração, apresentando períodos geralmente na faixa de microssegundos até poucos milissegundos (5). Alguns exemplos de eventos de sobretensões transitórias são as descargas atmosféricas, manobras e chaveamentos de linhas de transmissão, eventos anormais de chaveamentos (reignições e reacendimentos de disjuntores), manobras de bancos de capacitores, transformadores e reatores (6), (7), (8).

Sobretensões Temporárias são tipicamente na frequência fundamental e podem ocorrer apenas por um ciclo, mas, por outro lado, podem permanecer sustentadas no sistema por segundos, até que alguma ação, falha ou evento elimine a fonte de sua origem. Alguns tipos de sobretensões temporárias, ou também conhecidas como dinâmicas, estão relacionados à ocorrência de faltas à terra, desligamentos de linhas de transmissão e cabos, rejeição de cargas, geração com sistemas isolados devido a desligamentos de alimentadores, bancos de capacitores, cabos isolados e linhas a vazio (9), (10), (11), (16).

Sobretensões Harmônicas são usualmente resultantes de ressonâncias harmônicas no sistema. Determinadas condições ressonantes no sistema elétrico podem ser excitadas pela combinação de capacitores e as indutâncias equivalentes do sistema. Sobretensões oriundas da energização de transformadores devido às correntes transitórias de energização (*Inrush*) e até mesmo fenômenos de ferorressonâncias podem gerar elevadas amplitudes e distorções nas tensões do sistema (12), (13).

Para as configurações relacionadas aos sistemas de geração com fontes renováveis, tais como os sistemas fotovoltaicos ou mesmo os de geração eólica, como é o caso em pauta, existem algumas condições que podem resultar em sobretensões temporárias mais críticas que as normalmente encontradas em sistemas de distribuição típicos em média tensão, tais como faltas à terra, perdas de aterramento e referência de terra, autoexcitação, interação com a saturação de transformadores, ferorressonâncias e transitórios de manobras ou impulsivos (14), (15).

Inicialmente, apresentam-se os dados do sistema em análise quanto às ocorrências de falhas de equipamentos sensíveis, características do sistema de geração e as configurações adotadas nas medições. Serão apresentados os principais resultados, destacando-se as sobretensões dinâmicas registradas em campo. Tomando-se como base tais resultados, foram realizados testes e a verificação dos níveis de suportabilidade de varistores empregados nos equipamentos, buscando a correlação entre as principais falhas e as sobretensões dinâmicas sob determinadas condições de operação.

3.0 - DESCRIÇÕES DAS FALHAS DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA

Durante determinadas condições de operação dos sistemas utilizados nas centrais de geração de energia eólica, foram verificadas diversas falhas de equipamentos sensíveis, especialmente se tratando de fontes ininterruptas de energia, queimas de varistores instalados em supressores de surto e falhas de comunicação dos relés. No período anual de registro e controle das ocorrências e falhas dos equipamentos, a distribuição dos eventos ocorreu entre os meses de dezembro a abril, coincidindo com o período de maior incidência de descargas atmosféricas na região onde se encontram instalados os sistemas de geração eólica. A distribuição mensal das falhas dos equipamentos sensíveis está ilustrada na Figura 1, em conjunto com os equipamentos mais afetados, ou seja, fontes, supressores e relés, instalados nos painéis de baixa tensão em 230 V, responsáveis pela alimentação e controle dos comandos dos religadores do sistema elétrico de distribuição em 34,5 kV.

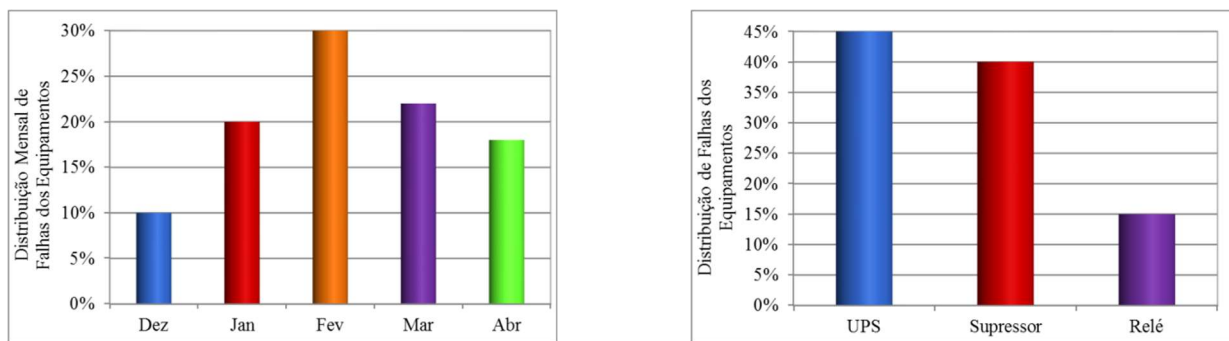


FIGURA 1 - Distribuição mensal e percentual dos tipos de equipamentos sensíveis afetados nas falhas.

4.0 - SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

O sistema de geração eólica estudado é composto basicamente pelas turbinas eólicas acionando aerogeradores do tipo DFIG (*Double Fed Induction Generators*), conversores estáticos, sistema de proteção (*Crowbar*), contatores, disjuntores, transformador de serviços auxiliares e o transformador de acoplamento, conforme ilustra a Figura 2.

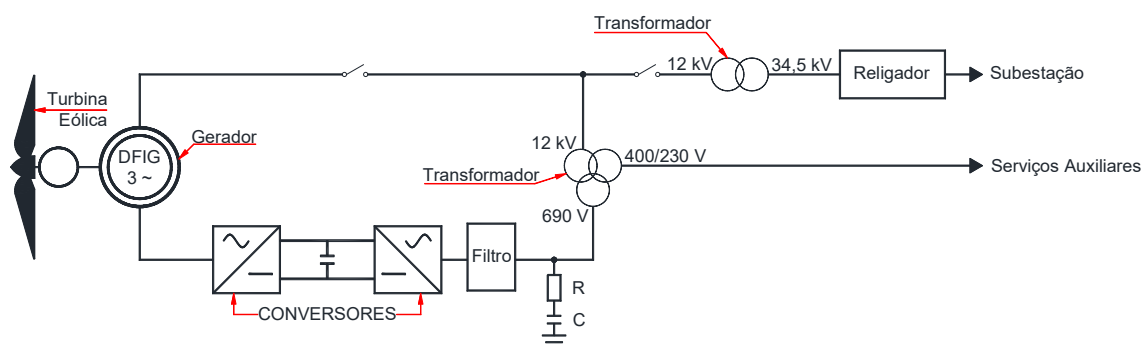


FIGURA 2 - Configuração do sistema de geração eólica tipo DFIG.

5.0 - CONFIGURAÇÃO UTILIZADA NAS MEDIÇÕES DO SISTEMA

Durante o desenvolvimento das atividades de investigação da possível causa raiz das falhas, foi proposta a realização de medições e uma série de testes nos sistemas dos aerogeradores, ou seja, medições de qualidade da energia e registros de eventos transitórios relacionados às diversas condições operacionais das turbinas eólicas. Deste modo, foram realizadas medições simultâneas com dois medidores do tipo classe A, avaliando-se o comportamento do sistema no lado de conexão ao sistema em média tensão, bem como no painel geral de controle em baixa tensão do aerogerador e no sistema de controle e comando dos religadores, para seis unidades ao longo do parque eólico.

A Figura 3 mostra o diagrama utilizado como base nesta análise, indicando os pontos das medições efetuadas nos sistemas de geração eólica. Foram analisados os resultados das medições de qualidade da energia durante a operação normal e manobras de chaveamentos, além de simulações e testes de equipamentos, proporcionando uma avaliação das condições de operação do sistema, visando determinar as origens das falhas.

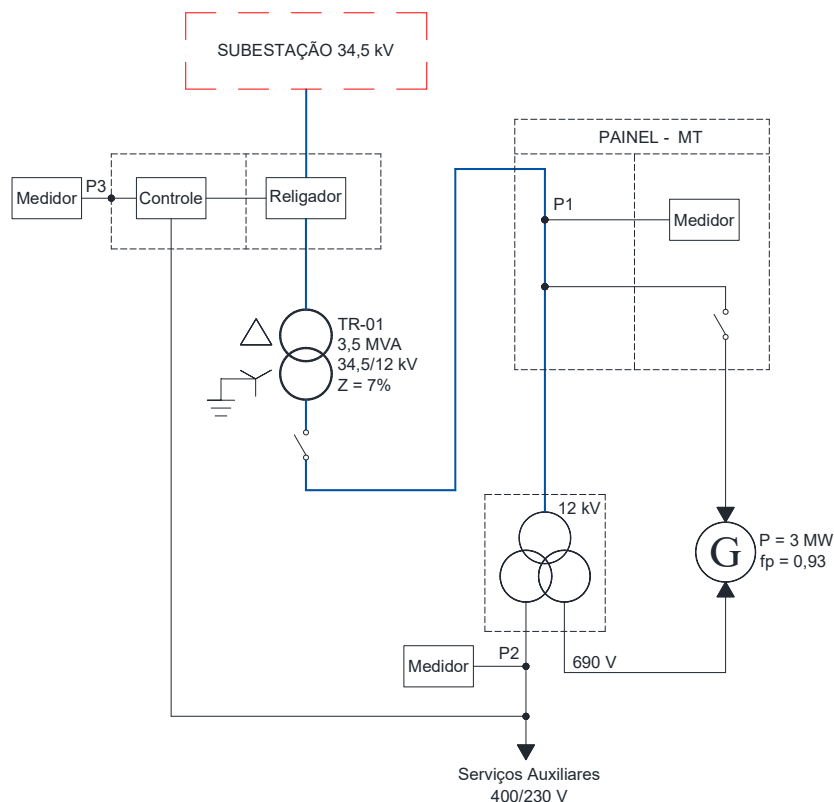


FIGURA 3 - Indicação dos pontos de medição durante testes de manobras dos religadores.

6.0 - RESULTADOS OBTIDOS NAS MEDIÇÕES

Este item apresenta os principais resultados obtidos no monitoramento da operação e dos testes de manobras de abertura e energização dos religadores, contemplando medições simultâneas no cubículo de média tensão (P1) e no sistema geral de baixa tensão (P2), bem como entre este ponto e o painel de alimentação do comando do religador (P3).

Foram monitoradas seis unidades de aerogeradores com as mesmas características e sequência de testes de desligamentos e energizações, com e sem a geração de energia, variando-se ainda as configurações internas dos painéis de comando em baixa tensão, assim como para condições distintas de operação quanto às velocidades do vento, em função das próprias condições ambientais.

6.1 - Medição no aerogerador 1 (AEG-1)

No período inicial das medições, foram realizadas diversas manobras no religador associado ao aerogerador 1. As tensões eficazes, de pico e o comportamento da potência ativa podem ser verificados na Figura 4, destacando-se que, especificamente neste intervalo de análise, o sistema de geração estava fora de operação durante a execução da sequência de manobras do religador.

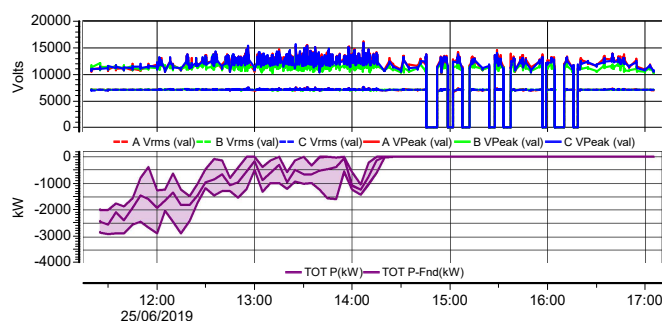


FIGURA 4 - Comportamento das tensões e potência ativa do AEG-1.

Como exemplo do comportamento típico observado neste intervalo de avaliação do sistema, a Figura 5 mostra o exato momento de uma manobra de desligamento do religador, apresentando um rápido amortecimento após a abertura, não havendo a presença de sobretensões para este caso. Também estão apresentados os resultados de uma manobra de energização do religador. Apesar do registro de eventos repetitivos durante o início da manobra, devido a reflexões em cabos isolados, não foram observadas sobretensões nessa condição operacional.

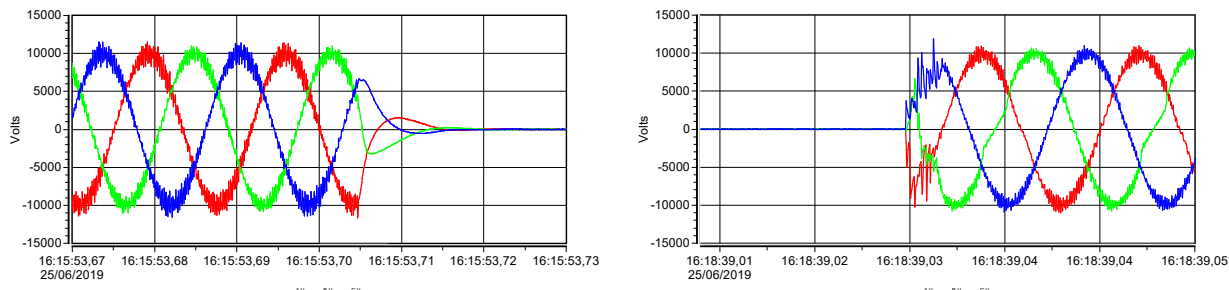


FIGURA 5 - Formas de onda das tensões fase-terra no cubículo de média tensão do AEG-1 durante manobra de abertura e energização do religador, no ponto de medição P1.

6.2 - Medição no aerogerador 2 (AEG-2)

Nesta medição, foram registrados eventos relacionados às sobretensões dinâmicas, verificadas após as manobras de desligamentos do religador, com a rejeição do sistema de geração eólica. Serão apresentados a seguir os principais resultados das medições e determinadas sobretensões registradas durante esse intervalo de avaliação. Neste caso, as medições foram divididas em duas etapas, ou seja, medição simultânea entre o painel de média tensão, derivado dos terminais do estator do gerador (P1) e o painel de baixa tensão, que é alimentado pelo enrolamento terciário do transformador de acoplamento (P2).

Na sequência, o medidor instalado em (P1) foi inserido no painel de comando do religador (P3), verificando-se as tensões de entrada e saída de um transformador isolador do tipo ferorrressonante. A Figura 6 ilustra o comportamento das tensões eficazes, de pico e a potência ativa obtida, com destaque ao desligamento do sistema no período final desta medição.

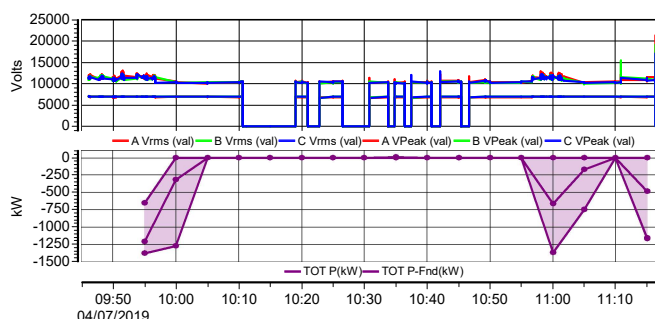


FIGURA 6 - Comportamento das tensões e potência ativa do AEG-2.

As formas de ondas das tensões durante duas manobras consecutivas de desligamento e energização estão apresentadas na Figura 7, mostrando um rápido amortecimento no desligamento e sobretensões de curtíssima duração devido aos efeitos na manobra do disjuntor, cabos isolados e distorções nas tensões com a circulação das correntes transitórias de energização.

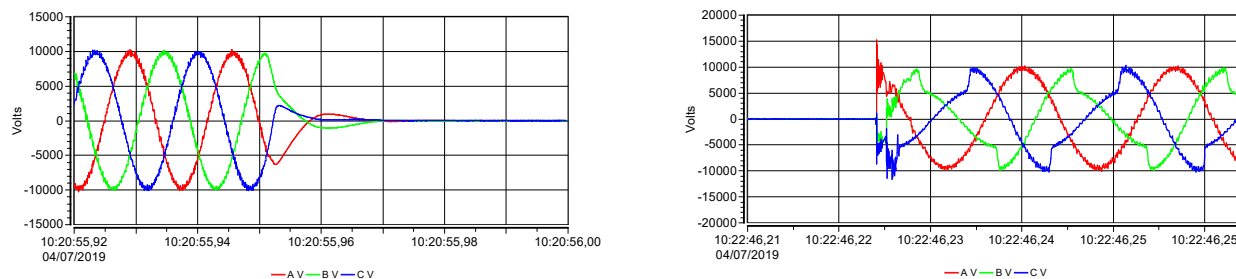


FIGURA 7 - Formas de onda das tensões fase-terra no cubículo de média tensão do AEG-2 durante manobras de abertura e energização do religador (P1).

Em seguida, apresentam-se as tensões eficazes e os valores de pico, registrados nas medições no painel geral de baixa tensão (P2), bem como as tensões na entrada do painel do religador (P3) e saída do respectivo transformador isolador, conforme mostrado na Figura 8. Com base nesses resultados, pode-se verificar que, em determinadas condições, além das sobretensões naturais das manobras, foram observadas sobretensões dinâmicas do tipo oscilatórias, especialmente sob condições de baixo carregamento do sistema.

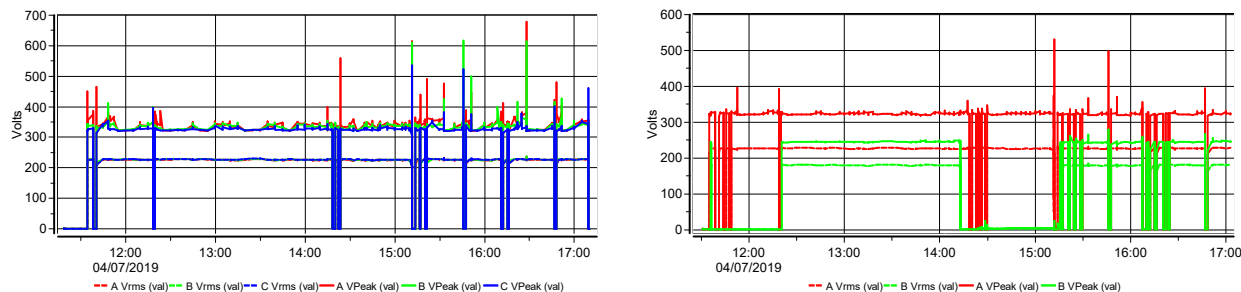


FIGURA 8 - Tensões eficazes e de pico medidas no painel de BT (P2) e no painel do religador (P3).

As formas de onda das tensões e correntes em média tensão (P1) durante a manobra de desenergização do religador e operação em ilha do aerogerador podem ser observadas na Figura 9. Verifica-se que, após o desligamento do sistema, ocorreram oscilações e a imposição de sobretensões dinâmicas no lado de média tensão. A medição simultânea no painel de comando geral (P2) indica o mesmo tipo de comportamento e a presença de oscilações nas tensões na baixa tensão do transformador.

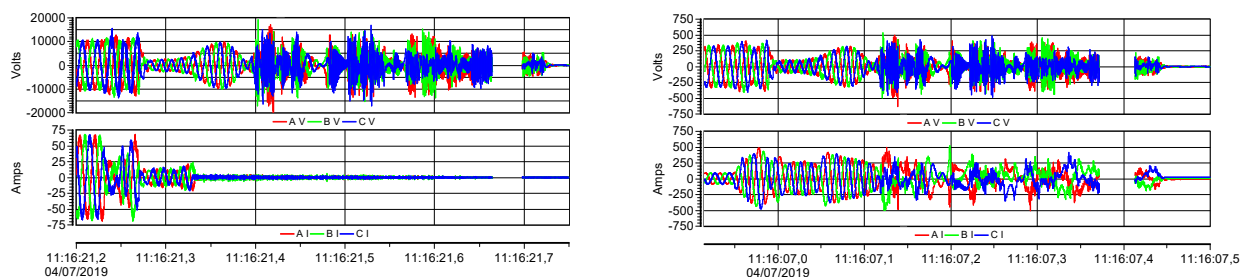


FIGURA 9 - Tensões e correntes no painel de média tensão (P1) e baixa tensão (P2) durante manobras de desligamento do religador do AEG-2.

Outros exemplos de registros de sobretensões anormais estão ilustrados na Figura 10, para o mesmo ponto de medição (P2), em diferentes instantes, condições de operação e velocidades do vento.

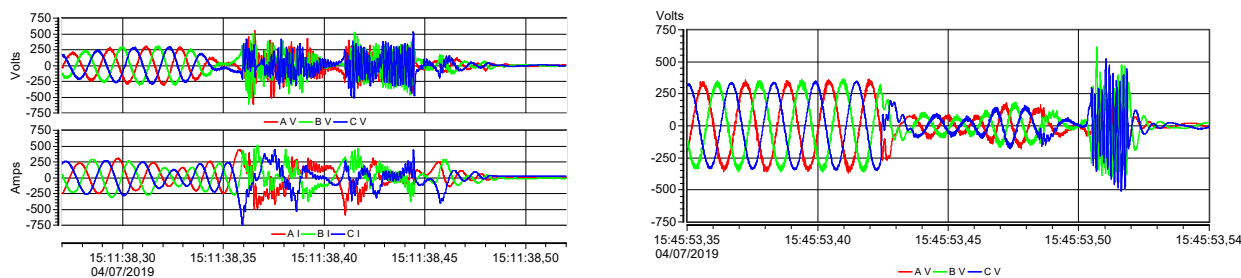


FIGURA 10 - Tensões e correntes no painel de baixa tensão (P2) durante manobras de desligamento do religador do AEG-2.

Como ilustra a Figura 11, durante as ocorrências de sobretensões oscilatórias após determinados desligamentos do religador, foi verificada a eficácia do transformador de isolamento ferorrressonante, pois as tensões nos seus terminais de saída foram limitadas em quase metade dos valores de pico registrados na entrada, reduzindo as solicitações impostas aos equipamentos instalados no painel de comando, controle e proteção do religador (P3).

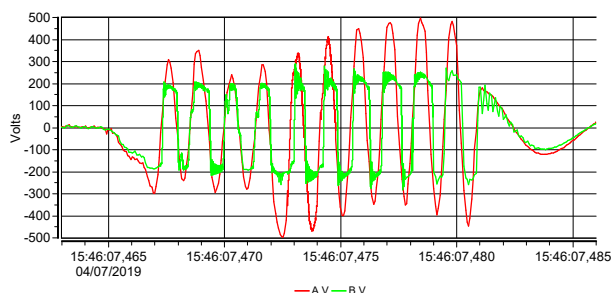


FIGURA 11 - Tensões no painel do religador (P3) durante manobra de desligamento do religador do AEG-2.

7.0 - RESULTADOS DE TESTES EM VARISTORES

Foram realizados testes em varistores de Óxido de Zinco (ZnO), sendo alguns iguais e outros similares aos que eram utilizados nos painéis dos religadores, para verificar sua sensibilidade frente às sobretensões.

Os eventos identificados nas medições aplicadas aos varistores, pertencentes aos equipamentos citados anteriormente, comprovam que esses fenômenos diminuem significativamente a vida útil do componente ao longo do tempo. Pode-se verificar que a energia dissipada pelo componente pode facilmente atingir valores maiores que os suportáveis, especialmente para tensões temporárias, que podem levar à sua degradação prematura e consequente queima por colapso térmico. Para valores superiores a 1,5 vezes o valor de pico da tensão nominal, as correntes já se apresentam com maiores intensidades e podem iniciar um processo de degradação do componente pelo consumo de energia além de sua capacidade de absorção. O próximo passo consistiu em utilizar uma fonte arbitrária para gerar uma tensão a partir das medições obtidas em campo. A avaliação efetuada aponta, como mais um indício de correlação com as falhas, os registros em condições de sobretensões de manobras envolvendo desligamentos e o seguido desacoplamento do sistema de geração.

A ocorrência de eventos de sobretensões oscilantes, com valores de 1,7 pu, como no caso de registros por medições nos painéis dos aerogeradores (P2), pode ser potencialmente prejudicial ao sistema, pois varistores formados à base de discos de óxido de zinco são sensíveis a sobretensões dinâmicas ou temporárias, as quais foram registradas diversas vezes nas medições. A Figura 12 mostra o resultado do comportamento da tensão e da corrente do varistor quando submetido às condições semelhantes a aquelas encontradas em campo.

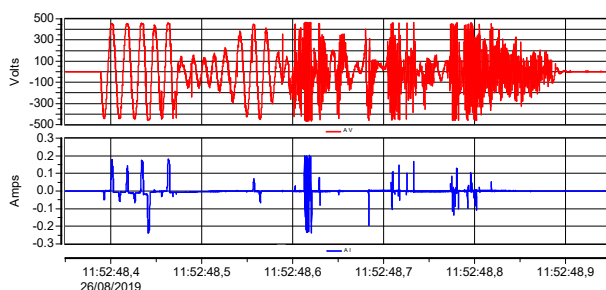


FIGURA 12 - Tensões e correntes durante testes de varistores e aplicação das formas de onda obtidas nas medições em campo.

A Figura 13 mostra as tensões e correntes na medição do varistor durante o teste com sua falha por colapso térmico. Observam-se a ocorrência de sobrecorrentes e redução das tensões em seus terminais, comprovando a sua falha em função das sobretensões aplicadas durante os testes de análise e desempenho dos varistores.

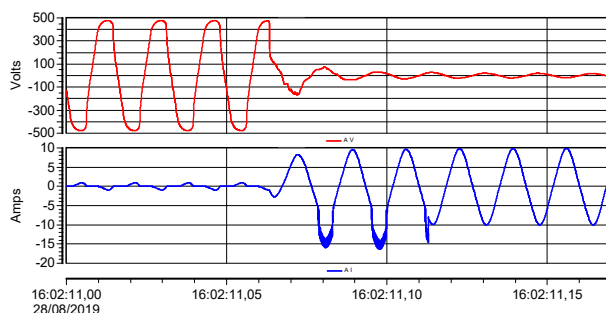


FIGURA 13 - Tensões e correntes durante testes destrutivos do varistor durante testes de sobretensões.

8.0 - CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma avaliação do desempenho do sistema de geração de energia eólica com base nas informações disponibilizadas e resultados obtidos durante os testes de manobras e medições de qualidade da energia, realizadas em unidades de aerogeradores do tipo DFIG, instalados em um complexo eólico. Foram realizados levantamentos e análises das ocorrências das falhas em equipamentos instalados nos painéis de religadores de tensão, tais como supressores de surto, fontes de energia ininterruptas e relés de proteção junto aos equipamentos de manobra, indicando que as ocorrências eram coincidentes com as condições climáticas mais críticas e aumento do número de desligamentos do sistema de distribuição.

Os resultados das medições durante manobras dos religadores para a condição normal de geração, ou totalmente sem geração, não indicaram sobretensões nos pontos de monitoramento. Entretanto, no período final de monitoramento, em condições de incidências de ventos desfavoráveis à plena geração de energia, induzindo ao estabelecimento de paradas operacionais intermitentes, com velocidades reduzidas na operação, para determinadas condições de carregamentos e manobras de desligamentos dos religadores, foram registradas sobretensões após o desacoplamento do sistema de geração com a rede de distribuição coletora (*Grid*). Este comportamento mostra que mesmo com a inclusão de um sistema de amortecimento (*Crowbar*), para determinados eventos de desligamentos, especialmente com carregamentos reduzidos, ocorreram sobretensões dinâmicas e oscilatórias, com valores de pico próximos a 2,0 pu. A análise do comportamento das sobretensões ressonantes indicam ocorrências de uma interação entre a frequência de operação reduzida do rotor do aerogerador, cabos isolados, transformador de acoplamento, filtros e conversores estáticos.

De modo a relacionar as sobretensões registradas em campo, foram realizadas ainda diversas simulações com o modelo disponibilizado para estudos de transitórios eletromagnéticos do *software* ATP, mas os resultados não reproduziram as sobretensões medidas em campo para a condição de desligamentos com baixas correntes de operação.

Foi recomendado um refinamento do modelo interno de modo a validá-lo para análise das respostas das reais oscilações das tensões, que se mostraram quando da desconexão do sistema e desacoplamento com a rede de média tensão. Sendo assim, a partir dos dados das medições, para correntes próximas às nominais, foi indicado que os desligamentos não provocaram sobretensões, com um amortecimento rápido e adequado aos componentes do sistema, é altamente recomendável estudar a possibilidade de implementação para alteração no sistema de amortecimento frente às eventuais sobretensões dinâmicas, imediatamente após a desconexão do estator, com a abertura do acoplamento com a rede. Os resultados ainda indicaram que a instalação de um transformador isolador, do tipo ferorressonante, por parte do fabricante dos equipamentos de manobra, se mostrou eficiente, pois, conforme mostrado na Figura 11, ocorre significativa limitação das tensões na saída, reduzindo os riscos de danos aos equipamentos instalados no painel dos religadores.

Como verificado por testes nos varistores, de um modo geral, sobretensões temporárias de até 1,5 pu da nominal ainda eram toleráveis pelos equipamentos eletrônicos sensíveis, sendo este um valor de referência máximo recomendado como resultado final de abertura do sistema de geração, pois, nas atuais condições, podem ser geradas instabilidades e falhas, principalmente nos equipamentos instalados nos painéis de controle e operação dos próprios aerogeradores. Este caso retrata a importância e real necessidade de medições de qualidade da energia, como no caso da determinação das condições impostas por baixas frequências de operação dos aerogeradores após manobras dos religadores, resultando em sobretensões dinâmicas que implicavam diretamente em falhas de equipamentos sensíveis.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) JESUS, N.C., DUARTE, L.M., JESUS, W.S., et al. Monitoramento, análise e diagnóstico de falhas de equipamentos envolvendo sobretensões dinâmicas em sistema de geração eólica. XIV Conferência Brasileira Sobre Qualidade Da Energia Elétrica, 2021.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Coordenação do isolamento - Procedimento - NBR 6939. Brasil, 2018.
- (3) CAMM, E.H., BEHNKE, M. R., BOLADO, O., et al. Wind power plant grounding overvoltage protection, and insulation coordination. IEEE PES Wind Power Plant Collector System Design Working Group, 2009.
- (4) CAI, L. Ferroresonance conditions in wind parks - IPST Cavtat. Croatia, June 2015.

- (5) GU, Y. J., NIE, Y., JIAO, Y.J., XU, Y.Q. Transient characteristics analysis of DFIG during power grid fault and crowbar resistance adaptive tuning - Baoding, Hebei, China, 2015.
- (6) ZHANG, X., LIANG, Y., WANG, K. Analysis of transient voltage stability for wind power integrated system based on DVR and crowbar - College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou, 2015.
- (7) SALES, M.B.C., HAMEYER, K., CARDOSO, J.R., GRILO, A.P., RAHMANN, C. Crowbar system in doubly fed induction wind generators. www.mdpi.com/journal/energies, April 2010.
- (8) SALES, M.B.C., HAMEYER, K., CARDOSO, J.R., GRILO, A.P., RAHMANN, C. Dynamic behavior of wind turbine generator configurations during ferroresonant conditions - Department of Electrical, Electronics and Computer Engineering, University of KwaZulu-Natal, Durban 4001, South Africa, February 2019.
- (9) PETER, H., JACOB, Ø. JAN, C.S. System grounding of wind farm medium voltage cable grids. Technical University of Denmark, 2007.
- (10) RONDE, D.D., HATTEN, R.V. Austin Wade Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Loss of effective system grounding - best practices, protection challenges, and solutions. Atlanta, Georgia, May 1, 2015.
- (11) FILIPOVIĆ-GRČIĆ, I.U.B., JURIŠIĆ, B., STIPETIĆ N. EMTP-PV electromagnetic transients program - insulation coordination for wind power plants EMTP-RV. Satellite Meetings, Paris, France, August 30, 2018.
- (12) CHENNAMADHAVUNI, A., MUNJI, K.K., BHIMASINGU, R. Investigation of transient and temporary overvoltages in a wind farm. IEEE International Conference on Power System Technology - POWERCON, Auckland, New Zealand, 2012.
- (13) FELTES, C., SANDT, R.V., KOCH, F., et al. Neutral grounding in wind farm medium voltage collector grids. Germany, 2011.
- (14) FISCHER, K., STALIN, T., RAMBERG, H., et al. Field-experience based root-cause analysis of power-converter failure in wind turbines. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 30, May 2015.
- (15) WALLING, R., GE Energy. Overvoltage protection and arrester selection for large wind plants. Apresentação disponível em <http://ewh.ieee.org/conf/tdc/Walling-overvoltage.pdf>.
- (16) SANDT, R.V., LÖWEN, J., PAETZOLD, J., ERLICH, I. Neutral earthing in offshore wind farm grids. IEEE Bucharest Power Tech Conference, Romania, June 28th 2009.

DADOS BIOGRÁFICOS



Nasceu em Pindamonhangaba (SP) em 1970. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Taubaté (UNITAU) em 1992 e mestrado pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 1995. Trabalhou na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI) e na AES Sul. Desde 2009 é consultor na GSI - Engenharia e Consultoria. É sócio fundador e atual Secretário Executivo da SBQEE. Possui mais de 180 artigos técnicos, publicados em revistas, conferências e congressos nacionais e internacionais. As áreas de interesse referem-se à Qualidade da Energia Elétrica, Sistemas Elétricos Industriais, Geração de Energias Renováveis e Transitórios Eletromagnéticos.

(2) GUSTAVO RODRIGUES DOS SANTOS

Nasceu em Taubaté (SP) em 1999. Atualmente cursa graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Guaratinguetá, e trabalha na área de estudos elétricos na empresa GSI - Engenharia e Consultoria Ltda. As principais áreas de interesse referem-se a estudos de sistemas elétricos industriais, transitórios eletromagnéticos, qualidade de energia e energias renováveis.

(3) WILLIAN SOUZA DE JESUS

Nasceu em Pindamonhangaba (SP) em 1998. Atualmente, cursa a graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica pela Universidade de Taubaté (UNITAU) e trabalha na área de estudos elétricos na empresa GSI - Engenharia e Consultoria Ltda. É sócio da Sociedade Brasileira de Qualidade da Energia Elétrica (SBQEE). As principais áreas de interesse referem-se a Estudos de Transitórios Eletromagnéticos, Qualidade de Energia e Energias Renováveis.

(4) THIAGO PEREIRA FRANCO

Nasceu em Mogi das Cruzes (SP) em 1998. Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 2020, onde participou como aluno bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica - PET. Atualmente trabalha na área de estudos elétricos na empresa GSI - Engenharia e Consultoria Ltda. Áreas de interesse: Análise e Simulações de Sistemas Elétricos para Avaliação de Curto-Circuito, Fluxo de Potência, Estabilidade Eletromecânica e Transitórios Eletromagnéticos.

(5) LUIZ MARLUS DUARTE

Nasceu em Taubaté (SP) em 1983. Possui graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica pela Universidade de Taubaté (UNITAU) em 2009. Atualmente trabalha como sócio consultor na empresa GSI - Engenharia e Consultoria Ltda. Áreas de interesse: Análise e Simulações de Sistemas Elétricos para Avaliação de Transitórios Eletromagnéticos, Curto-Circuito, Fluxo de Potência, Proteção e Seletividade.

(6) JOÃO LUCAS GONÇALVES NASCIMENTO

Nascido em Taubaté (SP) em 1998. Está graduando o curso de engenharia elétrica e eletrônica na Universidade de Taubaté - (UNITAU). Atualmente trabalha na empresa GSI - Consultoria e Engenharia Elétrica – Ltda. Trabalha com sistema elétrico de potência, Qualidade de energia elétrica e assistência a relatórios. Áreas de Interesse: Automação, eletrônica (dispositivos), sistema elétrico de potência e telecomunicação.