

IMPLANTAÇÃO E COMISSIONAMENTO DO SISTEMA SERGI EM UM TRANSFORMADOR DE 340 MVA NA USINA HIDRELÉTRICA JIRAU

Cristiano Torres do Amaral
Elvis Marcelo do Nascimento
Lorrana Jhulian Alves Batista
Luiz Henrique Santa Brigida

RESUMO

Os transformadores representam um dos principais equipamentos do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Uma falha deste equipamento pode resultar em grandes prejuízos, desde perda de receita, custos de reposição da unidade avariada, impacto ambiental e risco de acidentes. O fogo e a explosão de transformadores são geralmente ocasionados devido a uma falha dentro do tanque de isolamento. A principal causa de acidentes é a sobrecarga, curto-circuito ou falha relacionada com o equipamento como comutador de derivação em carga ou isolamento das buchas. Este texto tem o objetivo de descrever e destacar itens relevantes do sistema SERGI implantado na Usina Hidrelétrica de Jirau, no município de Jirau, em Rondônia. A proteção foi instalada em um transformador elevador trifásico 340 MVA - T12 e teve sua implantação realizada por profissionais especializados que apresentam os pontos importantes do sistema para contribuir com instalações semelhantes no país.

Palavras-chave: Transformador, SERGI, proteção, montagem, controle.

ABSTRACT

The transformers represent one of the main equipment of the system of generation, transmission and distribution of electric energy. Failure of this equipment can result in major losses, loss of revenue, replacement costs of the damaged unit, environmental impact and accident risk. Fire and explosion of transformers are usually caused due to a fault inside the insulation tank. The main cause of accidents is overloading, short-circuit or equipment-related failure as on-load tap-changer or bushing insulation. This text aims to describe and highlight relevant items of the SERGI system deployed at the Jirau Hydroelectric Power Dam, in the municipality of Jirau, Rondônia. The protection was installed in a three phase transformer 340 MVA - T12 and was implemented by specialized professionals that present the important points of the system to contribute with similar installations in the country.

Keywords: Transformer, SERGI, protection, assembly, control.

Introdução

Um arco elétrico interno em um transformador de potência pode acontecer quando a demanda elétrica ultrapassar a rigidez dielétrica do meio isolante. Esta situação pode ser motivada pela degradação do seu sistema isolante, perda de isolamento sólida ou líquida, contaminações, condições transitórias de sobrecorrente ou sobretensões. Nos casos mais críticos, existe a possibilidade de explosão dos transformadores devido aos curtos-circuitos ocorridos fora dos enrolamentos, entre os terminais das bobinas ou conexões das buchas, áreas de baixa impedância e onde ocorrem as maiores quantidades de energia na geração das sobre pressões internas (SEYTASHMEHR et al., 2008); (GOTO, 1987).

Figura 1. Explosão de transformador



Fonte: Adaptado de NICOLAU, 2008.

No primeiro momento, ocorre o período “transiente” quando são gerados picos de pressão e ondas de choque da propagação desta pressão no óleo. Aos poucos ocorre a elevação da pressão interna de todo o tanque. Os valores medidos de pressão nesta etapa são extremos, porém, não possuem energia total elevada. Os gradientes de pressão entre as diferentes regiões do tanque de isolamento são elevados até provocar pontos de ruptura e, conseqüentemente, uma explosão (FOFANA et al., 2010); (KAWAMURA, 1988).

Este processo deflagra o fogo e a explosão nos transformadores (Figura 1). Para um arco elétrico, um grande volume de gás explosivo é emitido nos primeiros segundos. A geração de gás cria um pico de pressão dinâmica que faz o tanque do transformador com mover com grande aceleração. O entendimento deste processo pode ser útil para desenvolvimento de um sistema de proteção adequado. O primeiro pico de pressão resultante da onda de choque pode ativar um conjunto de despressurização antes de aumentar a pressão estática dentro do tanque de isolamento e evitar a sua explosão. As explosões ocorrem porque os transformadores não estão protegidos contra o aumento rápido da pressão estática (FARAHANI et al., 2005). Para mitigar esse risco, os transformadores possuem um ou mais dispositivos de alívio de pressão. Estes equipamentos possuem dispositivos que monitoram e aliviam rapidamente a pressão interna.

A tecnologia SERGI (*Société Générale d'Etudes et de Réalisations Industrielles*) foi desenvolvida para realizar esse processo de maneira automatizada e segura, sendo uma das mais utilizadas no mundo (KAJIKAWA; JARDINI; CRISPINO; 2008). Recentemente, esta tecnologia foi implantada nas dependências da Usina Hidrelétrica (UHE) Jirau. Neste empreendimento os transformadores possuem extrema importância para regular o processo de geração. Qualquer alteração ou incidente que possa ocorrer com esses transformadores influenciariam de forma direta a continuidade do sistema, além de colocar em risco trabalhadores e causar grande prejuízo ao empreendimento (SAHA; PURKAIT, 2008).

Este texto apresenta uma breve descrição das etapas de implantação do sistema SERGI na UHE Jirau, destacando os pontos mais importantes no projeto de engenharia. Os dados deste trabalho foram obtidos a partir do Relatório de Estágio e Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Tecnólogo em Sistemas Elétricos do Instituto Luterano de Ensino Superior de Porto Velho (ILES-PVH), apresentado em 2016, bem como estudos posteriores, realizados pelo grupo de pesquisa da empresa júnior *Elektra Startup* do ILES-PVH.

Metodologia de Implantação do Sistema SERGI

A UHE Jirau foi implantada no local denominado “Ilha do Padre”, a 120 quilômetros ao longo do Rio Madeira, da cidade de Porto Velho, capital do estado de Rondônia (Figura 2). O investimento total foi de cerca de **R\$16,6 bilhões** para uma

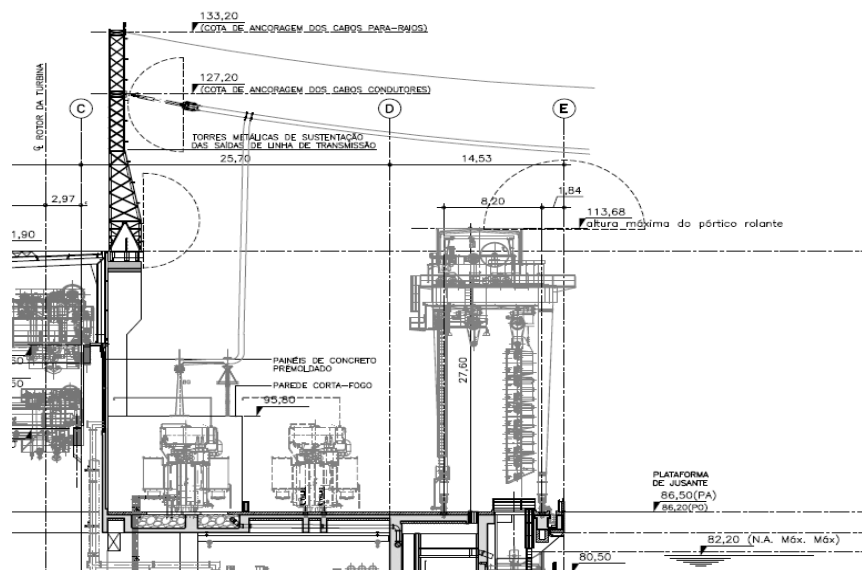
capacidade instalada de geração de 3.750 MW. A garantia física é de 2,2 GW e a unidade também integra o Sistema Interligado Nacional (SIN) desde 2013. A implantação da usina gerou cerca de 60 mil empregos diretos e indiretos. A solução de engenharia é otimizada, utilizando 50 turbinas e geradores inovadores que fazem do empreendimento a terceira maior unidade geradora do país (UHE-JIRAU, 2016).

Figura 2. Construção da UHE JIRAU/RO



Fonte: UHE-JIRAU, 2016.

Figura 3. Localização do Transformador no Arranjo Geral da Usina

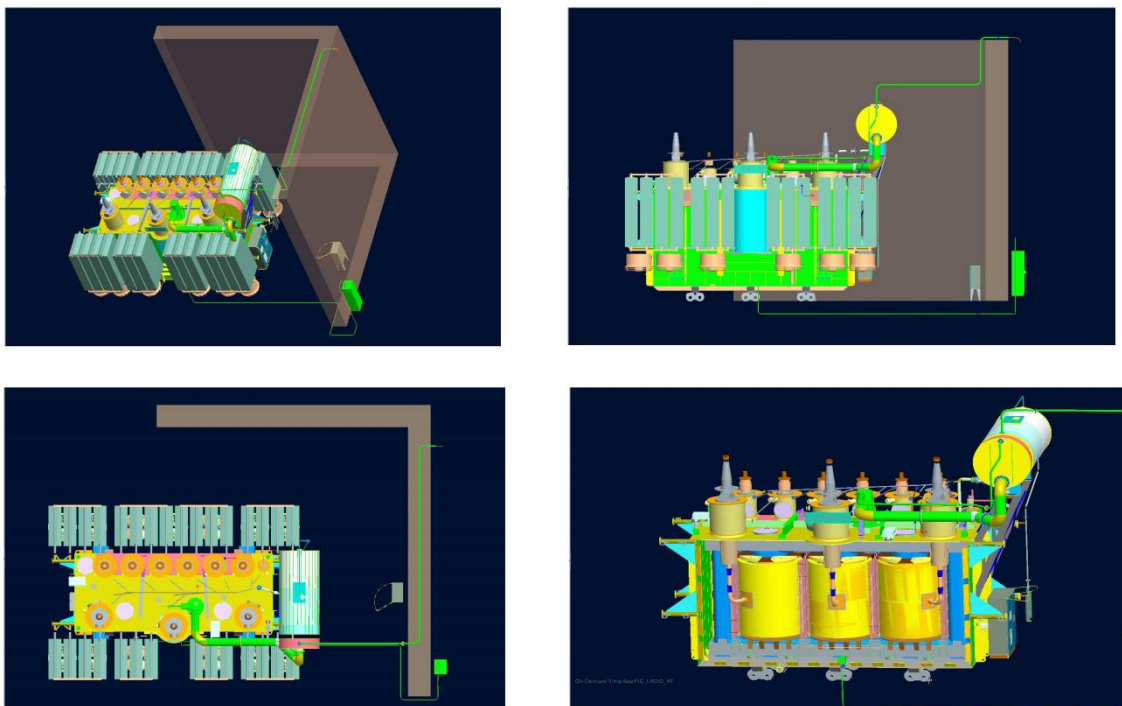


Fonte: LEME, 2015.

Um Transformador Elevador Trifásico (TET) de 340 MVA -T12 foi instalado logo acima das turbinas da usina, reduzindo perdas no processo de geração (Figura 3). Em função do alto investimento e localização são necessárias proteções efetivas em segurança, uma vez que se houver alguma explosão neste local, todo o sistema poderá ser comprometido.

No projeto de proteção dos transformadores foi elaborado modelo computacional baseado no modelo SERGI que considera os parâmetros elétricos do projeto de geração, e ainda, prevê uma tubulação auxiliar com gás inerte para evacuar todos os gases explosivos gerados e estabilizar o transformador em caso de explosão (Figura 4)

Figura 4. Modelagem do Transformador SERGI

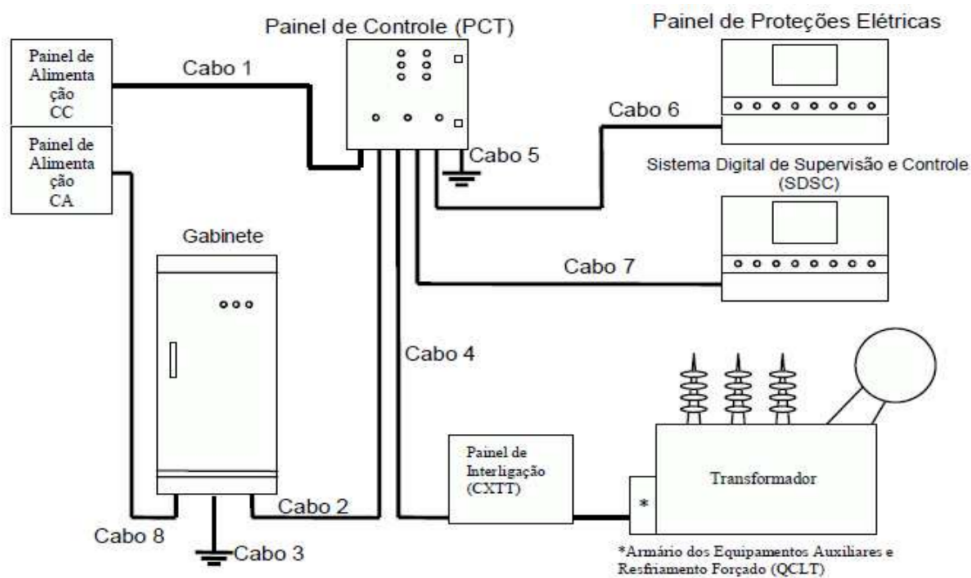


Fonte: LEME, 2015.

a modelagem computacional foram dimensionados parâmetros para evitar a explosão do transformador, com destaque para o volume de geração de gás inflamável versus tempo, amplitude do pico de pressão, parâmetros da pressão dinâmica, o gradiente de pressão, o aumento da pressão estática. Estes dados são aplicados a um modelo

multi-físico para quantificar a mistura óleo-gás a ser evacuada do tanque do transformador, do Comutador de Derivação em Carga e Caixa de Cabos de Bucha em Óleo, evitando assim a explosão. O modelo multi-físico também prevê o processo de despressurização versus tempo, com a função de abertura do disco de ruptura, a velocidade da mistura óleo-gás e diminuição da pressão no tanque (TRANSPROCO, 2016).

Figura 5. Diagrama de ligação do SERGI



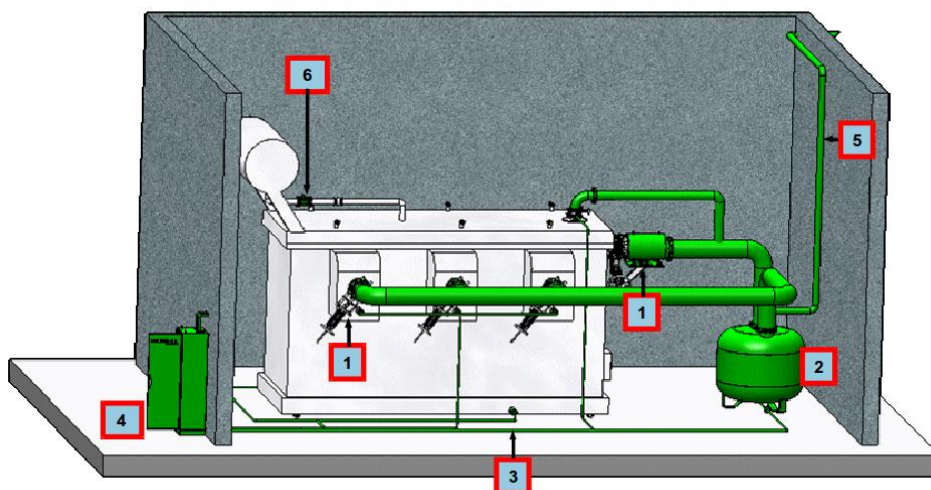
Fonte: Autores.

O sistema SERGI inclui um conjunto de despressurização, instalado no tanque do transformador ou no tanque do comutador. Este conjunto prevê um disco de ruptura para aliviar sobre pressões e uma câmara de descompressão. Além do conjunto de despressurização também existe um conjunto de separação óleo e gás. Este tanque de separação óleo e gás recolhe a mistura do óleo despressurizado e de gases inflamáveis, separando o gás que é canalizado através de uma tubulação de evacuação para uma área remota. Para isso, também existe um conjunto de eliminação de gases, que injeta de forma manual ou automática, um fluxo de nitrogênio depois de ocorrer a despressurização (TRANSPROCO, 2016);(KAJIKAWA; JARDINI; CRISPINO; 2008).

Resultados e Discussões

Na UHE Jirau a empresa Leme Engenharia Ltda foi responsável pela implantação de um moderno sistema SERGI de proteção no TET 340 MVA – T12. O princípio de funcionamento deste sistema é a supervisão do óleo sob efeito térmico, o qual gera pressão dinâmica e estática no tanque. Isso é realizado a partir do monitoramento de possíveis fontes de curto circuito dentro do tanque. Esse monitoramento compara a posição do conjunto de despressurização para o máximo volume de gás explosivo gerado quando o arco elétrico transfere toda a energia do curto circuito ao óleo.

Figura 6. Transformador com proteção



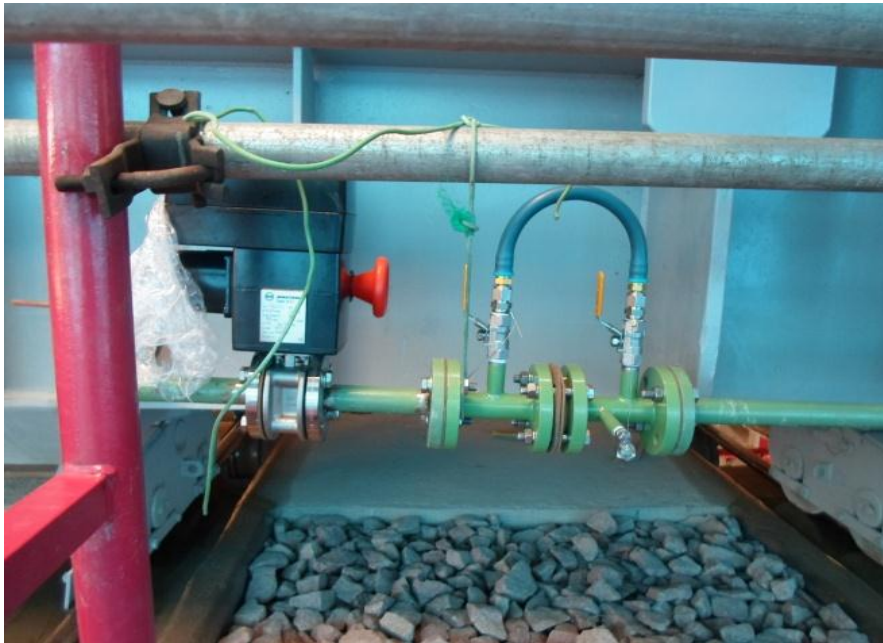
Fonte: (TRANSPROCO, 2016).

O monitoramento SERGI está estruturado com um Painel de Controle (PCT) que concentra os dados do Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC), um painel de proteções elétricas, bem como uma rede de alimentação auxiliar do sistema que está conectada a um sistema estabilizado de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA) (Figura 5).

O PCT concentra os dados e encaminha ao SDSC, que é responsável por

analisar as informações, bem como acionar os circuitos de proteção elétrica. O SDSC monitora os sensores no transformador com a proteção instalada (Figura 6) no conjunto de despressurização (1); tanque de separação óleo-gases (2); injeção de nitrogênio (3); cilindro de nitrogênio (4); evacuação de gás (5) e válvula *shutter* (6).

Figura 7. Detalhe da válvula de injeção de Hidrogênio



Fonte: Autores.

Figura 8. Válvula de proteção unidirecional



Fonte: Autores.

As explosões nos transformadores geralmente ocorrem porque não estão protegidos contra o aumento rápido da pressão estática. Na maioria dos casos, uma válvula de alívio de pressão não é ineficiente durante o curto-circuito, uma vez que sua resposta de acionamento não ocorre a tempo de evitar a explosão.

A eletroválvula de injeção de gás inerte (Figura 7) permite a contenção de explosão a partir da substituição dos gases internos no transformador, os quais são inflamáveis. O nitrogênio injetado impede a propagação de alguma faísca gerada. A ativação ocorre quando o sistema eletroeletrônico do painel de controle detecta a pane. Simultaneamente, a tubulação de drenagem de óleo permite a evacuação de gases explosivos e óleo durante a ativação do “*transformer protector*” do sistema SERGI. A tubulação de drenagem de óleo capta os drenos do transformador e caixas de cabo em óleo.

No sistema SERGI, a proteção e o monitoramento eletrônico garante resposta rápida e efetiva para contenção de explosões, contudo, caso ocorra alguma pane no sistema, existe uma válvula de proteção unidirecional (Figura 8). Este dispositivo impede a drenagem óleo se a tubulação de injeção de gás inerte estiver quebrada ou danificada por motivo de acidente.

Figura 9. Instalação de componentes pesados



Fonte: Autores.

A implantação do sistema SERGI em no transformador na UHE Jirau envolveu cerca de 10 profissionais especializados, entre engenheiros, eletricitas e auxiliares, no período de cerca de 20 dias. A logística também incluiu um guindaste de 220 t, uma plataforma de elevação de 16 m e um caminhão *munck* para instalação dos componentes pesados. O custo total de logística para implantação do sistema foi estimado R\$ 500.000,00. O sistema SERGI tem o custo médio estimado em US\$ 200.000,00 (KAJIKAWA; JARDINI; CRISPINO; 2008).

Considerações Finais

Atualmente o sistema SERGI disponibiliza a tecnologia mais eficiente para operação de um sistema de proteção de transformadores pesados. Na UHE Jirau a sua utilização tornou-se viável e eficiente, valorizando os dispositivos originais instalados no transformador e proporcionando segurança a todo o sistema. A utilização desses dispositivos contribuem positivamente para o aumento da confiabilidade e segurança dos sistemas elétricos de geração em ambientes críticos e, por isso, devem ser estimulados pelos órgãos reguladores.

Agradecimentos

À Empresa Leme Engenharia Ltda. que gentilmente disponibilizou fotos e informações técnicas sobre o sistema SERGI que ilustraram este texto.

Referências

FARAHANI, M. BORSI, H. GOCKENBACH, E. Dielectric Response Studies on Insulating System of High Voltage Rotating Machines In: **20^a International Power System Conference, 2005.**

FOFANA, I. HEMMATJOU, H. MEGHNEFI, F. FARZANEH, M. SETAYESHMEHR, A. BORSI, H On the Frequency Domain Dielectric Response of Oil-paper Insulation at Low Temperatures In: **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 17, No. 3; June 2010.**

GOTO, K. **The Pressure Rise During the Internal Fault.** CIGRE, 1987.

LUNDGAARD, L. E. HANSEN, W. LINHJELL, D. PAINTER, T. J. Aging of oilimpregnated paper in power transformers In: **IEEE Transactions on Power Delivery, Jan. 2004 Volume: 19, Issue 1, p. 230- 239.**

KAWAMURA, T. **Prevention of Tank Rupture Due To Internal Fault of Oil-Filled Transformer** – CIGRE, Report 12-02, 1988.

KAJIKAWA, C. O.; JARDINI, J. A.; CRISPINO, J. F. Aplicação de sistema de proteção contra explosão e incêndio em transformadores de potência na AES Eletropaulo. **In: XVIII SENDI 2008.** Disponível em [http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081216235249-1%20\(45\).pdf](http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081216235249-1%20(45).pdf) Acesso em 03 jan. 17.

NICOLAU, E. **Incêndio atingiu parte da subestação Pirituba da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP).** Disponível em <http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MUL3944305605,00INCENDIOS+EM+SUBESTACOES+DE+SP+SAO+CONTROLADOS.html> Acesso em 13 out. 16.

SAHA, T. K. PURKAIT, P. Investigations of Temperature Effects on the Dielectric Response Measurements of Transformer Oil-Paper Insulation System **In: IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 23, pp. 252-260, 2008.**

SETAYESHMEHR, A. FOFANA, I. EICHLER, C. AKBARI, A. BORSI, H. GOCKENBACH, Dielectric Spectroscopic Measurements on Transformer Oil-Paper Insulation under Controlled Laboratory Conditions **In: IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 15, pp. 1100-1111, 2008.**

TRANSPROCO. TRANSFORMER PROTECTOR. **Como o transformer protector funciona.** Disponível em <http://www.transproco.com/br/como-o-transformer-protector-funciona/> Acesso em 13 out. 16.

USINA HIDRELÉTRICA - JIRAU - RO . **Informações da Usina Hidrelétrica de Jirau.** Disponível em <http://www.energiasustentaveldobrasil.com.br/a-usina> Acesso em 22 nov. 16.