

Grupo de Estudo de Subestações e Equipamento de Alta Tensão (GSE)

RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

Fábio Nepomuceno Fraga - CHESF
Antonio Carlos C. De Carvalho - ONS
Eber HÁvila Rose - ELETRONORTE

1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De um total de 79 resumos submetidos, 5 foram retirados pelos autores, 2 não foram validados pela CT (não atendiam aos requisitos do XXII SNPTEE) e 72 resumos encaminhados para avaliação dos relatores. Destes resumos 36 foram selecionados para apresentação de Informes Técnicos. Tivemos declínio de 05 ITs ficando 31 ITs para avaliação dos Relatores e todos avaliados foram selecionados pela CT para apresentação no XXII SNPTEE.

Ressaltam-se alguns pontos principais:

a) Os temas Subestações e Equipamentos de UAT e Novos desafios para projeto e construção de subestações com grandes potências instaladas não receberam nenhum resumo para análise e conseqüentemente não tiveram ITs apresentados;

b) Apresentou-se um aumento considerável de ITs envolvendo temas correlatos a projeto e tecnologias em subestações, destacando temas como a aplicação de novas tecnologias, projetos básico, campos elétricos e subestações conversoras CA/CC e CC/CA;

c) Quanto aos temas relacionados equipamentos elétricos destacaram-se temas relacionados às descargas parciais em equipamentos e limitadores de curto-circuito;

2.0 CLASSIFICAÇÃO DOS INFORMES TÉCNICOS

Os 31 (trinta e um) informes apresentados foram classificados em 5 temas preferenciais (2 temas preferenciais não apresentaram ITs), em função do conteúdo técnico, conforme indicado a seguir:

- **Subestações ao tempo e abrigadas:** foram apresentados 7 ITs;
- **Introdução de Subestações no SIN:** foram apresentados 7 ITs;
- **Ensaio em equipamentos elétricos de alta tensão e avaliação de superação:** foram apresentados 9 ITs;
- Aplicação de novas tecnologias em equipamentos elétricos: foram apresentados 4 ITs;
- Subestações conversoras CA/CC e CC/CA e seus equipamentos: foram apresentados 4 ITs;

Dentro de cada categoria, estão agrupados, os seguintes Informes Técnicos:

2.1 219 Subestações e Equipamentos de UAT (maior ou igual a 1000 kV AC)

- 69 - ANÁLISE DA TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA DE DISJUNTORES OPERANDO EM SISTEMAS UAT (1.000 KV)

2.2 220 Equipamentos elétricos de alta tensão ensaios, novas tecnologias e avaliação de superação

- 2 - DESENVOLVIMENTO DE ISOLADORES SUPORTE 800 KV PARA USO SOB CHUVA INTENSA
- 84 - DESEMPENHO DE ISOLADORES SOB CHUVAS INTENSAS
- 119 - MÓDULO HÍBRIDO COMPACTO DE MANOBRA RELOCÁVEL DE 145 KV: NOVA CONCEPÇÃO DE EQUIPAMENTO PARA USO MÚLTIPLO EM CONSTRUÇÃO, MANUTENÇÃO E EMERGÊNCIA

- 135 - A IMPORTÂNCIA DA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DIELÉTRICOS COM ALTA TENSÃO, APÓS GRANDES MANUTENÇÕES EM SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS SF6
- 113 - EQUIPAMENTO AUXILIAR PARA MANOBRA DE SECCIONADO
- 277 - CHAVEAMENTO CONTROLADO NA ENERGIZAÇÃO DE AUTOTRANSFORMADORES DA SUBESTAÇÃO 230KV CURITIBA NORTE - ESTUDO DE CASO
- 301 - SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO BASEADO NA MEDIÇÃO DA CORRENTE DE FUGA EM PARA-RAIOS DE ZNO
- 391 - APLICAÇÃO DA ANÁLISE DA RESPOSTA DIELÉTRICA EM TRANSFORMADORES DE CORRENTE
- 521 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ENSAIOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE ALTA POTÊNCIA NO CEPEL
- 76 - ANÁLISE DE SUPERAÇÃO DE INSTALAÇÕES DE ALTA TENSÃO COM APLICAÇÃO NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL.
- 220 - O DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS PREDITIVAS DE DIAGNÓSTICO EM SISTEMAS ISOLADOS À GÁS SF6. EXPERIÊNCIAS BEM SUCEDIDAS DE APLICAÇÃO
- 247 - SENSOR DE BAIXA CORRENTE PARA BUCHAS DE TRANSFORMADORES EM SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO " PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E REPASSE À INDÚSTRIA
- 262 - ANÁLISE NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA PARA DIAGNÓSTICO DE FALHA EM TRANSFORMADOR DE CORRENTE
- 378 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DE TRANSFORMADORES DE CORRENTE EM CICLOS DUPLO E TRIPLO DE RELIGAMENTOS PARA AUMENTO DE DISPONIBILIDADE DE ATIVOS
- 82 - FILOSOFIA ADOTADA PELA CEEE-D PARA O ATERRAMENTO DE SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS "INDOOR"
- 83 - MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE MALHAS DE TERRA DE SUBESTAÇÕES UTILIZANDO ESPAÇAMENTOS REDUZIDOS ENTRE ELETRODOS: O MÉTODO 3MT APLICADO NO GRUPO CEEE

2.3 221 Subestações ao tempo e abrigadas

- 132 - ANÁLISE DAS SUBESTAÇÕES ISOLADAS A HEXAFLUORETO DE ENXOFRE
- 195 - RECAPACITAÇÃO DO SETOR 230 KV PARA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO DE 63 KA NA SUBESTAÇÃO GRAVATAÍ 2
- 226 - COMPARATIVO ENTRE ARRANJOS BD4/BD3 E TECNOLOGIAS AIS/MTS PARA SUBESTAÇÃO MANOEL DA NÓBREGA 230/138 KV - 450 MVA E 230/88 KV - 225 MVA
- 344 - REISOLAMENTO DA SUBESTAÇÃO COLOMBO 69KV PARA 138KV COM UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA GIS.
- 416 - ESTUDO DE COMPACTAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DE CLASSE DE TENSÃO DE 145 KV, ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E PROJETO BÁSICO DA ETC BROOKFIELD TOWERS.
- 492 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ESFORÇOS DEVIDOS AO EFEITO DA PASSAGEM DE CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO EM BARRAMENTOS FLEXÍVEIS DE SUBESTAÇÕES ISOLADAS A AR SIMULTANEAMENTE À AÇÃO DOS VENTOS, SEGUNDO AS NORMAS NBR 5422, NBR 6123 E DA NBR 8681
- 18 - METODOLOGIA DE REDUÇÃO DE CUSTOS DE FUNDAÇÕES EM OBRAS DE SUBESTAÇÕES
- 202 - LOCALIZAÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS PELO MÉTODO DAS ONDAS VIAJANTES FORA DA REGIÃO DE COBERTURA DAS ANTENAS UHF
- 140 - PLANEJAMENTO DE AMPLIAÇÃO EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA, COM USO DE REALIDADE VIRTUAL
- 217 - INSTALAÇÃO DE CORTINAS ACÚSTICAS EM BANCOS DE TRANSFORMADORES, PARA DIMINUIÇÃO DE NÍVEIS DE RUÍDOS EM TORNO DA VIZINHANÇA DA SE JANDIRA
- 254 - DETECÇÃO, INVESTIGAÇÃO E CORREÇÃO DAS ATIVIDADES DE DESCARGAS PARCIAIS EM BLINDADAS A SF6 138 KV NA SUBESTAÇÃO OLÍMPICA - EXPERIÊNCIA LIGHT
- 273 - SISTEMA DE MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO POR DIFERENÇAS PARCIAIS DE POTENCIAL SELETIVAS EM FREQUÊNCIA E TENSÕES DE PASSO E TOQUE PARA SUBESTAÇÕES ENERGIZAD
- 351 - INTEGRAÇÃO DE MODELAGEM 3D COM APLICABILIDADE EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA
- 403 - DESAFIOS PARA O SECCIONAMENTO DE BARRAMENTOS 230 KV EM SUBESTAÇÕES ENERGIZADAS: UM ESTUDO DE CASO NAS SUBESTAÇÕES DE RECIFE II, CAMAÇARI II, PAULO AFONSO III E FORTALEZA II DA CHESF

2.4 275 Subestações conversoras CA/CC e CC/CA e seus equipamentos

- 130 - METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE ELETRODOS MARINHOS EM SISTEMAS CCAT

2.5 292 Introdução de subestações no SIN

- 205 - SISTEMAS DE POTÊNCIA PARA ELETRIFICAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS - A EXPERIÊNCIA DA ABB

2.6 293 Análise de equipamentos de alta tensão

3.0 RELATÓRIO SOBRE OS INFORMES TÉCNICOS

3.1 - ANÁLISE DA TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA DE DISJUNTORES OPERANDO EM SISTEMAS UAT (1.000 KV)

ARNEZ, R.(1);JARDINI, J.A.(2);FRONTIN, S.D.O.(1);NICOLA, G.L.C.(3);BORIN, P.D.O.F.(3);GRAHAM, J.F.(4);GUJJUN, L.(4); - FDTE(1);EPUSP(2);ELETROBRAS ELETRONORTE(3);STATE GRID(4);

Recentemente, no Brasil, foi proposta a alternativa da transmissão de grandes blocos de energia em UAT (Ultra Alta Tensão), especificamente em 1.000 kV c.a. A linha UAT estaria composta de três trechos entre as subestações de Milagres (CE) e Pirapora (MG), com aproximadamente 440 km/trecho. Para manobrar a linha em 1.000 kV é necessária a especificação dos disjuntores, dando ênfase aos requisitos de Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT). Basicamente, os estudos do disjuntor UAT devem abranger as condições críticas de falhas ?trifásicas? isolada e aterrada, em ambos os terminais do disjuntor, em geral, indicativas de maior TRT após a interrupção da falta; e falta ?quilométrica? que pode definir a maior solicitação para o disjuntor no início da TRT, aplicada a 2 km, 10 km, 50% e a 90% do comprimento do trecho. A amplitude da sobretensão, assim como a taxa de crescimento da onda de tensão ? RRRV, nos terminais do disjuntor, não devem ultrapassar a curva envoltória especificada no estudo. As curvas envoltórias utilizadas no estudo correspondem às curvas de dois (T-10 e T-30) e quatro parâmetros (T-60 e T-100) recomendadas de forma preliminar pelo CIGRE/IEC. No artigo, serão apresentados os resultados do estudo relacionados a estes casos. Como a linha de 1.000 kV apresenta compensação série em ambos os terminais, nos casos em que a TRT ficou comprometida devido à interação com a reatância em derivação da linha, um sensor emitirá ordem de disparo para realizar o by-pass do capacitor série e minimizar a solicitação ao disjuntor na operação de abertura. A linha UAT proposta neste estudo pode-se tornar pioneira no Ocidente a operar no nível de tensão de 1.000 kV, em corrente alternada, o que atribui aos resultados, conclusões e recomendações do presente estudo um importante acervo técnico aos subseqüentes projetos de integração de sistemas elétricos principalmente na América Latina.

Perguntas e respostas:

A) Os autores analisaram a influência da presença ou não de pára-raios nas entradas de linha e na barra?

A TRT é a tensão que aparece nos terminais do disjuntor durante transitórios na rede. Por esta razão o impacto dos para-raios shunt, no lado da linha ou na subestação, não é significativa. Estes (para-raios) irão cortar tensões fase-terra superiores a (no caso do estudo) aproximadamente 1.650 kV (ou 1,92 pu). O que sim foi observado foi o impacto das chaves de by-pass do capacitor série próximo para eliminar dita superação. No IT submetido, não foi colocada esta chave de by-pass pois o objetivo é mostrar que sem esse dispositivo, para faltas quilométricas e terminais haveria superação da TRT.

B) O IT cita algumas simulações nas quais houve superação nos valores de TRV ou RRRV e como solução a utilização de um sensor que emitirá ordem de disparo para realizar o by-pass do capacitor série e minimizar a solicitação ao disjuntor na operação de abertura. Descrever com mais detalhes esta operação, experiências em sua

utilização e confiabilidade neste processo.

O sensor ao qual se faz referência faz parte da chave de by-pass do capacitor série. Nos catálogos dos fabricantes de capacitores série, por exemplo ABB e Siemens, estão especificadas as funções e especificações destes sistemas de by-pass. As chaves de by-pass fazem parte do sistema de proteção de bancos de capacitores série, juntamente com o MOV e os spark gaps, sendo estes colocados em paralelo com o banco série. O objetivo principal da chave de by-pass é, como seu nome indica, by-passar ou inserir o capacitor série durante manobras planejadas e para proteger o banco série durante faltas na linha.

C) Tem sido frequente nos estudos de TRV encontrar problemas nas simulações de faltas trifásicas isoladas. No entanto, devido à sua baixa probabilidade em sistemas UAT tem havido uma tendência de não utilizá-la. Quais os comentários dos autores, em relação a este assunto, considerando este sistema de 1000 kV com espaçamentos muito superiores aos tradicionalmente estudados?

Simulações de faltas trifásicas isoladas em tensões inferiores a 750 kVca poderiam ser dispensadas; porém, no caso do sistema de 1.000 kV proposto, por ser um sistema pouco comum, decidiu-se incluir este estudo para ver se não existe comportamento peculiar que possa comprometer o sistema todo. Apesar dos espaçamentos entre as fases e terra serem maiores que outros sistemas CA com tensões menores, estas foram determinadas considerando as restrições dos corredores para sistemas de transmissão.

3.2 - DESENVOLVIMENTO DE ISOLADORES SUPORTE 800 KV PARA USO SOB CHUVA INTENSA

JUNIOR, R.P.D.S.P.(1);TEIXEIRA, C.D.C.(2); - FURNAS(1);GRANTEL EQUIPAMENTOS(2);

A partir do apagão sofrido no sistema elétrico brasileiro em 2009, se iniciou a utilização de defletores de chuva nos isoladores suporte de 800kV devido à inexistência de isoladores que atendessem aos requisitos elétricos exigidos mediante a presença de chuvas intensas. Este artigo apresenta o modelo de isolador 800 kV que atende às exigências elétricas na presença de chuvas intensas, de no mínimo 5 mm/min, sem a necessidade de qualquer adaptação ou utilização de algum dispositivo complementar. Este isolador representa a evolução nos atendimentos aos novos requisitos de utilização e possui designe e tecnologia diferente dos isoladores convencionais.

Perguntas e respostas:

A) Foram realizados ensaios com solicitações combinadas de poluição e chuva nos isoladores ?

foi realizado o ensaio de névoa salina, e o ensaio sob chuva previsto em norma e com maiores níveis de chuva do que a norma pedia, porém estes testes combinado não.

B) Como foi posicionada a estrutura para chuva ? A que distância ? Foi garantida a uniformidade da chuva ?

A chuva foi uniforme sim, medida em vários ângulos, não sei a que distância estavam os lançadores de chuva, isso não ficou registrado. Porém, o que é importante é a chuva que chega no isolador, e foram realizadas diversas medidas em praticamente todo o isolador, tanto para a componente vertical, quanto para a horizontal.

C) Foram realizados ensaios para verificação do desempenho dieletrico do isolador poluído pelas nosrmas IEC 61245 e ABNT NBR 10621 ?

Foi realizado ensaio de poluição artificial com névoa salina, com aprovação.

3.3 - DESEMPENHO DE ISOLADORES SOB CHUVAS INTENSAS

MELLO, D.R.D.(1);FILHO, O.B.D.O.(1); - Autônoma(1);

Este trabalho apresenta os resultados do estudo realizado pelo Grupo de Trabalho (GT) D1-45 do Cigré quanto à avaliação do desempenho de equipamentos quando submetidos a chuvas intensas, após relatos de diversas concessionárias sobre a ocorrência de falhas com precipitações superiores a 2 milímetros por minuto e que podem atingir comprovadamente até 10 milímetros por minuto. Como a revisão da IEC 60060.1 fixou a precipitação máxima a ser empregada nos ensaios dielétricos em 1 mm/min, os resultados sobre o desempenho dielétrico obtidos pelo GT serão enviados à IEC para subsidiar uma nova revisão da norma. Este trabalho apresenta também os resultados dos estudos realizados quanto à metodologia de ensaio sob chuva a ser empregada nos ensaios em equipamentos para Ultra Alta Tensão (UAT), a influência da chuva no desempenho sob poluição e a influência das chuvas ácidas, decorrentes dos elevados níveis de poluição.

Perguntas e respostas:

A) Na opinião dos autores o que levou a IEC retirar dos procedimentos de ensaio sob chuva a opção da selação de precipitação de chuvas intensas ?

Os ensaios com 5 mm/min de precipitação vieram da ANSI e foram baseados em um evento ocorrido nos Estados Unidos no século passado. Infelizmente foi retirado sem consultar outros países. O primeiro passo do nosso estudo foi consultar outros países e constatamos que o problema de chuvas intensas não estava ocorrendo somente no Brasil mas sim em diversos países como Filipinas, África do Sul, Índia, China, México, etc

B) Com os resultados obtidos nos estudos quais as principais recomendações que os autores fariam para especificação de isoladores ?

Deve-se considerar a atual norma brasileira de Alta Tensão que apresenta duas opções de índice de precipitação para chuva intensa a serem adotados em um ensaio. O valor do índice a ser adotado será indicado pelo comprador após avaliação dos índices de precipitação pluviométrica do local onde o isolador será instalado e deverá ser acordado com o fabricante, caso não tenha sido mencionado na especificação de compra do isolador. O Cigré ainda está fazendo estudos de qual a melhor metodologia de ensaio para equipamentos em UAT.

C) A Figura 1 apresenta índices de quase 30% de falhas para chuveiros sendo esses mais críticos que a própria chuva (12%). Esses resultados apresentados sugerem que os ensaios devam ser realizados para mais de um valor de precipitação máxima ?

Deve-se considerar também o efeito da poluição, fundamental para o projeto de um isolador. No caso de chuveiros eles umedecem, mas não lavam a superfície do isolador acarretando a formação de bandas secas que podem vir a causar uma descarga disruptiva dependendo do perfil do isolador e do índice de poluição local. São dois eventos diferentes que devem ser levados em consideração no projeto de um isolador. A chuva intensa lava a superfície, removendo o poluente, mas pode curto circuitar as saias adjacentes reduzindo a suportabilidade dielétrica

3.4 - MÓDULO HÍBRIDO COMPACTO DE MANOBRA RELOCÁVEL DE 145 KV: NOVA CONCEPÇÃO DE EQUIPAMENTO PARA USO MÚLTIPLO EM CONSTRUÇÃO, MANUTENÇÃO E EMERGÊNCIA

PINTO, E.B.(1);UMETSU, P.I.(2);FALCÃO, G.(2);RODRIGUES, D.T.(2); - CPFL(1);ABB(2);

O presente trabalho apresenta o fruto do desenvolvimento conjunto das áreas de engenharia da CPFL Energia e da ABB Ltda., para conceber um equipamento que reunisse um mínimo de funcionalidades requeridas em subestações convencionais isoladas no ar, para vãos de entrada de linha de transmissão, conexão de transformadores de potência, conexão de bancos de capacitores e interligação de barras, que operam em tensão até 145 kV. Adicionalmente, o equipamento foi concebido para ser transportado entre diferentes pontos do sistema elétrico, porque a ideia da CPFL era usá-lo como um vão temporário de manobra e proteção em obra de ampliação de subestação, onde seria instalado um segundo transformador de potência. Então, após o término da obra, o equipamento seria enviado a outra similar, ou aplicado em local diverso em tarefas de manutenção programada dos equipamentos convencionais desses vãos ou, ainda, em situações de emergência, quando ocorressem defeitos ou falhas em tais equipamentos.

Perguntas e respostas:

A) Em relação aos aspectos reguratórios a CPFL obteve alguma contrapartida da ANEEL ?

Até o momento não houve uma consulta à ANEEL, As unidades do equipamento estão classificadas na reserva técnica das distribuidoras da CPFL e seu gerenciamento fica a cargo da Área de Operação do Sistema Elétrico, que controla o uso dos demais equipamentos existentes e de aplicação semelhante: subestações móveis, transformadores móveis, "trans-rupters" relocáveis e religadores relocáveis.

B) Foram realizados ensaios mecânicos no conjunto para garantir a integridade durante as condições de transporte brasileiras ?

Não. A especificação técnica requereu que fossem consideradas as condições de tráfego brasileiras e que os proponentes apresentassem confirmação de atendimento à normalização técnica IEEE 693-2005 ? Recommended Practice for Seismic Design of Substations. Outrossim, inquiridos, os fornecedores declararam ter suprido versões equivalentes para usos similares, mormente em mineração. Por fim, o transporte pode ser monitorado de maneira idêntica ao que se já faz com subestações e transformadores móveis, por meio de registradores de impactos.

C) O módulo foi projetado para trabalhar como entrada de linha, conexão de transformador ou interligação de barras. Como foi configurado o cubículo de controle ? É um único ou tem um para cada possibilidade de função ?

O único cubículo de controle é configurado para possuir exatamente os mesmos terminais de fiação e de controle, sinalização, proteção e medição que já há nos equipamentos convencionais nos vãos mencionados e que existem nas subestações de distribuição da CPFL, passíveis de serem substituídos: disjuntores, seccionadores (inclusive lâminas de terra) e transformadores de corrente (de proteção e medição).

3.5 - A IMPORTÂNCIA DA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DIELÉTRICOS COM ALTA TENSÃO, APÓS GRANDES MANUTENÇÕES EM SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS SF6

SOUZA, A.F.D.(1);CAMPOS, B.M.(2);CARVALHO, D.S.D.(3);BRASIL, F.D.S.(4);COSTA, H.J.F.D.(5);AZEVEDO, P.R.P.D.(2);MONTEIRO, P.C.A.(6);JUNIOR, J.M.T.T.(2); -

ELN(1);ELETRONORTE(2);Eletronorte(3);ELETRONORT(4);ELETROBRAS ELETRONORTE(5);Eletronorte(6);

As subestações isoladas a gás SF₆, do inglês ?Gas-Insulated Substation? (GIS), são usadas em usinas hidrelétricas por serem mais compactas e pela eficiência no isolamento. Após montagem, troca de equipamentos ou grandes manutenções, é necessário realizar ensaios dielétricos com alta tensão, para detectar possíveis falhas dielétricas, antes que o sistema seja energizado e a GIS volte a operar. Neste trabalho, serão apresentados os resultados obtidos durante ensaios de tensão suportável e de descargas parciais, feitos na Usina Hidrelétrica de Tucuruí, após a troca de equipamentos sinistrados na unidade geradora 06, as falhas detectadas e as soluções tomadas, para eliminá-las.

Perguntas e respostas:

A) Qual a duração de todo procedimentos de ensaio ?

B) Existe na Eletronorte algum critério para realização deste ensaio (comissionamento apenas ou existe uma programação estabelecida) ?

C) A solução de utilização de esfera anti-corona foi desenvolvida pela Eletronorte ou o fabricante indicou ?

3.6 - EQUIPAMENTO AUXILIAR PARA MANOBRA DE SECCIONADO

ROCHA, L.F.D.(1); - CEEE-GT(1);

A operação de seccionadores de forma remota é um problema para as empresas que operam no sistema elétrico, necessitando sempre a supervisão de um operador local para certificar o êxito da operação. Este trabalho apresenta uma proposta visando solucionar essa questão. Para avaliar a eficiência da proposta, foram realizados testes e ensaios num protótipo em escala real, usando um seccionador de dupla abertura sob várias condições de operação. Das condições testadas resultou em redução da força de atrito entre as partes móveis quando utilizado um motorvibrador direcional com frequência ajustável que proporcionou a correta conexão dos contatos, alcançando o objetivo

Perguntas e respostas:

A) Chaves seccionadoras continuam a ser o elemento mais frágil de um módulo de manbra de subestação de alta tensão, a despeito dos progressos tecnológicos observados para as tecnologias de equipamentos em geral. Na experiência dos autores, houve melhora de desempenho operacional de projetos novos de seccionadoras, em relação aos projetos mais antigos?

EM RESUMO POSSO GARANTIR QUE FOI INSUFICIENTE A MELHORA, COMO O SECCIONADOR É COMPOSTO DE VARIAS PARTES ALGUMAS PARTES SIM HOUE MELHORA, COMO MATERIAIS DOS ISOLADORES, CAIXA DE COMANDO... POREM COM TUDO É O ELEMENTO MAIS COM A CONFIABILIDADE MAIS FRAGIL

B) Além do desempenho das chaves seccionadoras, existem outros aspectos que dificultam as concessionárias a adotar o telecomando em subestações de AT tornando-as desassistidas?

FORA A CONFIABILIDADE NÃO VEJO OUTRO IMPEDIMENTO!

C) Qual o nível de risco para o negócio das transmissoras e distribuidoras em se adotar a operação remota em subestações desassistidas, face as penalidades devido à ocorrência de indisponibilidades nos equipamentos de subestação?

DANIFICAR O EQUIPAMENTO POR FALHA NA CONEXÃO DEVIDO A PONTO QUENTE QUE PODE EVOLUIR A INTERRUPÇÃO NO FORNECIMENTO DE ENERGIA

3.7 - CHAVEAMENTO CONTROLADO NA ENERGIZAÇÃO DE AUTOTRANSFORMADORES DA SUBESTAÇÃO 230KV CURITIBA NORTE - ESTUDO DE CASO

ROSAS, G.B.(1);MIKLITA, M.A.S.(1);OLIVEIRA, H.P.(2);TEIXEIRA, M.D.(3);BLOCK, P.A.B.(3); - COPEL(1);ONS(2);LACTEC(3);

Este informe técnico apresenta a avaliação da adoção de dispositivos de chaveamento controlado na energização dos Autotransformadores da Subestação 230 kV Curitiba Norte. A avaliação foi realizada tanto na ferramenta computacional ATP, quanto em ensaios realizados em campo, permitindo evidenciar a eficácia destes dispositivos, na redução das correntes de inrush. Com os resultados dos ensaios em campo foi também possível mensurar o fluxo residual dos Autotransformadores e então definir a real curva de saturação destes equipamentos.

Perguntas e respostas:

A) Os sincronizadores adotados nos disjuntores dos transformadores da SE 230 kV Curitiba Norte levam em conta o fluxo residual dos transformadores para a definição de sua estratégia de chaveamento controlado dos transformadores? Nbs ensaios de campo não foi possível determinar o valor do fluxo residual existente em cada transformador previamente às manobras de energização?

Os sincronizadores adotados nos disjuntores dos transformadores da SE 230 kV não consideram o fluxo residual e sim os instantes da onda de tensão na estratégia de chaveamento controlado destes equipamentos. Nos ensaios de campo foi possível determinar o fluxo residual existente em cada transformador previamente às manobras de energização.

B) Os curvas obtidas para a corrente de inrush da Figura 11 quando não se utilizou sincronizadores forma bastante similares. Já a comparação entre medições e simulação para os casos quando o sincronizador foi utilizado, que são apresentados na Figura 12, a diferença entre os sinais é significativa. Os autores poderiam elaborar um pouco mais sobre as razões destas diferenças? Foi considerada nas simulações de ATP para estes casos o valor de fluxo remanescente efetivamente ocorrido no campo?

Os modelos utilizados para representar a rede elétrica no ATP, principalmente os modelos com elementos não lineares são uma aproximação das instalações reais de sistemas elétricos de potência, inclusive este modelos buscam maximizar os valores das grandezas elétricas, por esse motivo as correntes de inrush não apresentaram grande redução nos seus valores quando da comparação com as correntes de inrush mensuradas em campo. Nas simulações de ATP para estes casos das Figuras 11 e 12 foram considerados os fluxos remanescentes obtidos de ensaios em campo.

C) Qual a experiência da COPEL com sincronizadores para disjuntores de AT? São os níveis de desempenho compatíveis com o esperado? Quais os pontos críticos que devem ser observados na especificação deste tipo de equipamento?

A experiência da COPEL com sincronizadores para disjuntores de AT é recente, porém tem-se verificado a redução das correntes de inrush com a utilização destes dispositivos. Os sincronizadores disponíveis no mercado têm atendido as aplicações da COPEL, sem a necessidade de especificações especiais.

3.8 - SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO BASEADO NA MEDIÇÃO DA CORRENTE DE FUGA EM PARA-RAIOS DE ZNO

LIRA, G.R.S.D.(1);FILHO, C.R.C.D.A.(1);BARBOSA, V.R.D.N.(1);SOUZA, L.S.D.(1);BATISTA, S.L.D.C.(1);COSTA, E.G.D.(1);MAIA, M.J.D.A.(2); - UFCG(1);CHESF(2);

Para-raios de óxido de zinco exercem papel fundamental na proteção de sistemas elétricos contra sobretensões atmosféricas e de manobras. Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto de para-raios de óxido de zinco baseado na medição e análise da corrente de fuga total, isentando-se da necessidade da medição da tensão aplicada no para-raios. O trabalho consiste em um sistema embarcado conectado ao para-raios em campo, transmitindo informações por meio de uma rede de sensores sem fio para um computador remoto dotado de uma ferramenta de apoio à decisão estruturada em redes neurais artificiais.

Perguntas e respostas:

A) A corrente de fuga resistiva de para-raios pode ser influenciada por fatores externos, tais como chuva e poluição. Como um sistema de monitoramento que é baseado em medição da corrente total de fuga poderá compensar estes fatores?

Na presença de chuva ou poluição ocorrerá uma elevação da corrente fuga total devido à componente que flui pelo invólucro do para-raios. A ideia do monitoramento on-line e contínuo, representada pelo sistema proposto, visa identificar modificações permanentes da corrente. A chuva causa alterações que podem cessar. Contudo, a poluição pode causar alterações permanentes na corrente, pois gera má distribuição de campo elétrico ao longo da coluna ativa e, por conseguinte, degradação dos varistores com o tempo. Como a medição de corrente é contínua, comportamentos transitórios podem ser ignorados, enquanto que, alterações permanentes da corrente e, portanto, do estado operativo do para-raios serão identificadas. Ademais, testes em laboratório demonstraram a capacidade da técnica em diferenciar poluição superficial de outros tipos de defeitos, tais como, entrada de umidade e degradação de varistores.

B) O sistema de monitoramento desenvolvido já foi aplicado no campo. Caso positivo, como foi o desempenho?

Uma versão anterior deste equipamento foi instalada numa saída de linha de 230 kV da Chesf por cerca de um ano e meio. Os três protótipos mostram boa estabilidade ao longo período avaliado. Apenas um deles precisou de manutenção. Ressalta-se que os equipamentos foram construídos a partir de elementos encontrados no Laboratório de Alta Tensão de Campina Grande, ou seja, não foram utilizados CIs industriais (mais robustos) nem um processo de manufatura industrial, pois o equipamento foi desenvolvido dentro da primeira fase de projetos de P&D da Aneel (Pesquisa Aplicada). Ressalta-se também que vários testes de laboratório, tais como, aplicações de altas tensões e correntes, foram realizados com finalidade de averiguar a robustez do equipamento. O equipamento se sobressaiu bem nos testes de laboratório. O sistema de transmissão empregado foi testado também, e alcances de mais de 300 metros foram obtidos.

C) Este tipo de medição de corrente de fuga pode ser utilizada para a predição de final de vida útil de para-raios ZnO? Seria uma previsão confiável para a sinalização de substituição deste tipo de equipamento?

Este é objetivo final desta pesquisa. Prever a vida útil. Estudos ainda estão sendo conduzidos nesse sentido. Devido à escassez de dados de campo e ao término do projeto de P&D e do financiamento, a pesquisa ainda não finalizada. Contudo, resultados preliminares evidenciam que é possível estimar o final da vida útil de para-raios a partir da medição da corrente de fuga.

3.9 - APLICAÇÃO DA ANÁLISE DA RESPOSTA DIELÉTRICA EM TRANSFORMADORES DE CORRENTE

NEGRAO, H.R.F.(1);BRASIL, F.D.S.(1);CAMPOS, B.M.(1);TOSTES, J.A.S.(1);TOSTES, M.E.D.L.(2);SILVA, S.R.E.(1);FEITOSA, J.B.S.(1);SILVA, I.J.D.(1);CONCEICAO, F.W.S.(1); - Eletrobras Eletronorte(1);UFPA(2);

O presente trabalho aborda algumas das principais técnicas utilizadas na Eletrobras Eletronorte, para avaliação da qualidade da celulose e óleo isolante. O artigo apresenta resultados de ensaios de Espectroscopia no Domínio da Frequência e Corrente de Polarização e Despolarização em uma série de transformadores de corrente a fim de se mensurar a umidade no dielétrico de tais equipamentos.

Perguntas e respostas:

A) O IT discorre sobre três diferentes técnicas de diagnóstico não invasivo para o estado do isolamento de TCs. Qual a recomendação dos autores sobre a aplicação das técnicas apresentadas? Existe alguma delas que é mais recomendável, ou depende do caso?

A mais recomendável seria a aplicação do PDC e FDS juntas para diminuição do tempo de ensaio, visto que elas separadamente tomam muito tempo de ensaio, inviabilizando o procedimento.

B) De acordo com a experiência dos autores, a aplicação de técnicas de diagnóstico em TCs contribuem para a efetiva identificação de possíveis defeitos de isolamento dos mesmos? É possível a partir destas técnicas de diagnóstico identificar o envelhecimento de TCs e prever com alguma segurança o final de sua vida útil?

A aplicação das técnicas contribuem para identificação de possíveis defeitos, como penetração de umidade na isolação. Contudo, ainda não é possível prever o final de vida útil.

C) Qual a opinião dos autores sobre a aplicação de técnicas não invasivas de diagnóstico de equipamentos de alta tensão de forma geral? São elas promissoras como forma de se evitar a falha de equipamentos em operação? São tais técnicas aplicadas de forma generalizada nas concessionárias do setor elétrico?

As técnicas não invasivas estão ganhando cada vez mais espaço no setor elétrico nacional, principalmente pela possibilidade de se realizar uma avaliação da condição do equipamento sem o desligar. Podemos citar diversas técnicas de manutenção preditiva, como: descargas parciais, corrente de fuga, termovisão, dentre outras.

3.10 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ENSAIOS REALIZADOS NO LABORATÓRIO DE ALTA POTÊNCIA NO CEPEL

RODRIGUES, M.G.(1); - CEPEL(1);

Neste artigo, é apresentada a análise estatística dos ensaios realizados no Laboratório de Alta Potência do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), considerando sua ocupação, os principais ensaios realizados e as principais falhas em equipamentos submetidos aos ensaios de alta tensão.

Perguntas e respostas:

A) Os períodos analisados para as estatísticas de ensaios de potência no CEPEL cobrem dois períodos de tempo, a saber, 1983 a 1996 e 2001 a 2009. Qual a razão para a não cobertura dos períodos 1996-2001 e, principalmente, 2009 -2016?

A análise de dados apresentada neste IT foi realizada em duas épocas, sendo que, na segunda, os dados do período 1997 a 2000 não estavam mais disponíveis. No período de 2010 a 2016, houve um período longo do laboratório dedicado a trabalhos internos e, através de uma análise qualitativa, mas suficiente, concluiu-se que a análise deste período não alteraria significativamente os resultados obtidos no segundo período da amostra considerada neste IT (2001 a 2009).

B) A Tabela 1 do IT indica falhas percentuais extremamente elevadas para todos os tipos de equipamentos ensaiados. São estes resultados relativos a ensaios de tipo ou de rotina? Em relação à prática internacional de laboratórios de potência, são estas taxas de falha também encontradas em outros países?

Esses dados referem-se a ensaios de tipo. Os resultados apresentados nesta Tabela referem-se a toda amostra analisada, o que inclui a década de 80, quando a indústria nacional, sem a cultura de realizar ensaios com frequência, teve alta taxa de reprovação em seus equipamentos. Como apresentado neste IT, nas décadas seguintes, a taxa de aprovação aumentou significativamente. Não temos conhecimento sobre as taxas de aprovação internacionais obtidas em outros laboratórios de alta potência.

C) Qual o procedimento adotado pelos fabricantes quando ocorre a falha do equipamento. Estes têm seus projetos alterados e são novamente testados até que sejam finalmente aprovados?

Sim. Usualmente, os projetos são alterados e os ensaios são repetidos até que os equipamentos apresentem desempenho satisfatório, conforme critérios de aprovação das normas adotadas. Geralmente, os fabricantes obtêm nos ensaios, em caso de falha, informações relevantes para a melhoria do projeto do equipamento. Além da análise visual do objeto sob ensaio e dos oscilogramas de corrente e de tensão, um meio para analisar o desempenho do equipamento, no decorrer do ensaio, é a filmagem em alta velocidade, em geral, com taxa de mil quadros por segundo. Apesar de se tratar de um fenômeno de curta duração (até 1 s) e, em muitos casos, com alta emissão de luminosidade, a filmagem pode permitir a identificação de pontos frágeis do equipamento e, com isso, a melhoria do projeto.

3.11 - ANÁLISE DE SUPERAÇÃO DE INSTALAÇÕES DE ALTA TENSÃO COM APLICAÇÃO NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL.

SINDER, R.L.(1);ASSIS, T.M.L.D.(1);MONTEIRO, A.M.(2);CARVALHO, A.C.C.D.(2); - COPPE/UFRJ(1);ONS(2);

No Brasil, os parques eólicos têm vivenciado um crescimento excepcional nos últimos anos. Sua integração à instalações existentes pode, entretanto, resultar em problemas de superação dos limites de suportabilidade de barramentos e equipamentos. Esse trabalho analisa o impacto da inserção de parques eólicos a uma subestação do Sistema Interligado Nacional, localizada na região nordeste do Brasil. Inicialmente, a metodologia de análise de superação é descrita, considerando a superação por corrente de curto-circuito e por corrente de carga. Os resultados indicam que medidas mitigadoras e medidas operativas são fundamentais para contornar problemas de superação e postergar a substituição dos equipamentos.

Perguntas e respostas:

A) O carregamento de equipamentos por corrente de carga acima das nominais é uma possibilidade, quando se leva em conta a temperatura ambiente e a temperatura de projeto dos equipamentos. Os autores poderiam elaborar um pouco mais sobre as possíveis margens operacionais que poderiam ser obtidas pela aplicação de tal técnica?

As margens operacionais que podem ser obtidas com a técnica descrita dependerão essencialmente da corrente de sobrecarga, da corrente inicial, da corrente nominal do equipamento e da temperatura ambiente. Tais parâmetros permitirão a determinação do tempo máximo de sobrecarga para garantir que a condução da corrente não exceda a temperatura admissível. No caso da subestação estudada, o pior cenário de sobrecarga leva a uma corrente de 2,2 kA em uma das chaves, o que representa uma sobrecarga de 10%. Levando em consideração os dados da máxima temperatura ambiente registrada na região, o operador teria 1h13min para executar medidas operativas para alívio da sobrecarga.

B) Os autores adotaram o seccionamento de barras como medida mitigadora para superação por corrente nominal e corrente de curto-circuito para uma subestação de 230 kV. Poderiam os autores comentar sobre a evolução das medidas de limitação de curto-circuito em subestações de transmissão? e a aplicação na prática de limitadores baseados em materiais super-condutores?

O seccionamento do barramento de 138 kV da subestação estudada foi adotado como medida mitigadora para reduzir as correntes de curto-circuito a valores compatíveis aos dos equipamentos existentes. No caso de superação por corrente de carga foi proposta a adoção de medidas operativas para alívio de sobrecarga levando em consideração o tempo de sobrecarga admissível nos equipamentos de manobra. Entretanto, é possível que, em certos casos, o seccionamento de barramentos possa ser considerado como medida operativa para o alívio de sobrecarga. Medidas mitigadoras que envolvem modificações na topologia da rede como seccionamento de barras, radialização de circuitos e by-pass de barras, embora eficazes para contornar problemas de superação, geralmente, acarretam a perda de confiabilidade e flexibilidade operativa. Soluções definitivas envolvem a conexão de dispositivos limitadores de corrente de curto-circuito ou a substituição dos equipamentos superados. Diferentes tecnologias de limitadores de corrente de curto-circuito vêm sendo estudadas para evitar a substituição de equipamentos superados. Alguns limitadores estão disponíveis comercialmente com ampla experiência de uso, como reatores com núcleo de ar, dispositivos pirotécnicos e os sistemas HVDC comutados pela linha. Por outro lado, outras tecnologias estão em fase de pesquisa e desenvolvimento, destacando-se os limitadores baseados em supercondutores de alta temperatura crítica (Superconducting Fault Current Limiters - SCFL). Os primeiros limitadores supercondutores disponíveis comercialmente foram instalados em sistemas de distribuição de média tensão, mas já existem protótipos para alta tensão em fase de testes.

C) Para linhas de transmissão o conceito do carregamento dinâmico já vem sendo aplicado em diversos países, com sistemas on-line que determinam o carregamento máximo permitido, em função das condições atmosféricas. Os autores poderiam comentar a experiência internacional com este tipo de tecnologia aplicada a equipamentos de subestação, como uma medida mitigadora para a superação por corrente de carga?

O conceito de carregamento dinâmico para contornar problemas de superação de equipamentos é largamente utilizado no âmbito internacional. Dentre os documentos que abordam tal aplicação, pode ser citado o padrão C37.010-2016 - IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis

capacitativas. Ao ultrapassar estes limites, o sistema gerará alarmes para que as equipes de engenharia de manutenção tomem providências. O monitoramento online da tangente de delta e da capacitância possibilita a identificação preditiva da degradação da isolação das buchas capacitativas, evitando a evolução de faltas e eventos catastróficos em grandes transformadores de potência devido a falhas nesses componentes

3.14 - ANÁLISE NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA PARA DIAGNÓSTICO DE FALHA EM TRANSFORMADOR DE CORRENTE

VIEIRA, N.V.(1); - COPEL(1);

Este trabalho analisa o comportamento do sistema isolante papel/óleo de um transformador de corrente, através da técnica da espectrometria dielétrica no domínio da frequência, submetido a uma simulação de trilhamento elétrico superficial em seu tubo capacitivo, por meio da inserção de alguns curto-circuitos intencionais entre suas camadas isolantes. Com a análise dos dados, foi possível identificar alterações significativas nos espectros do fator de dissipação, capacitâncias reais e imaginárias, evidenciando a aplicabilidade da técnica na detecção de falhas envolvendo degradação por trilhamento superficial severa no isolamento sólido.

Perguntas e respostas:

A) A espectrometria dielétrica é uma técnica de monitoramento que é mais aplicável de forma contínua ou de forma pontual em TC's. No caso da segunda opção, como seria identificado o momento ideal da vida operacional do TC para se realizar a análise do mesmo? Quais indícios poderiam ser utilizados pela concessionária para tomada de decisão de sua análise?

Acredito que análise deva ocorrer no momento de comissionamento do equipamento, e assim obter sua imagem identidade. Posteriormente, pode-se realizar alguns ensaios de forma sistemática ou em momentos oportunos, como é o caso de alguns aproveitamentos de desligamento e assim comparar seus espectros. Porém, resalto que o estudo foi elaborado em ambiente controlado, ou seja, em laboratório e ainda não foi testado está técnica em equipamentos instalados.

B) É possível se identificar o final de vida útil de TC's por intermédio da espectrometria dielétrica?

Não é possível afirmar, pois o estudo necessita de continuidade , ou seja, mais equipamentos devem ser submetidos a ensaios e assim aumentar o banco de dados.

C) A técnica de detecção de defeitos em TC apresentada no IT demonstrou-se eficiente para faltas intencionalmente aplicadas no equipamento. Os autores possuem experiência de aplicação desta técnica para detecção de defeitos em TCs que se encontravam em operação no campo?

Não, a técnica foi utilizada em ambiente controlado e ainda não foram realizados testes em campo.

3.15 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DE TRANSFORMADORES DE CORRENTE EM CICLOS DUPLO E TRIPLO DE RELIGAMENTOS PARA AUMENTO DE DISPONIBILIDADE DE ATIVOS

FILHO, D.F.G.(1);FERREIRA, H.L.(2);OLIVEIRA, R.G.D.(3);LAGOS, F.M.(4);Spresola, F.E.(3);Carvalho, T.S.d.(4); - CHESF(1);CHESF(2);Alstom Grid(3);GE(4);

É apresentado neste trabalho o resultado de um estudo de resposta transitória de Transformadores de Corrente ? TC, classe P conforme [1], especificados pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco ? Chesf com carga superior às necessidades reais de projeto, em situações de curtos-circuitos assimétricos com religamentos automáticos sem sucesso de linhas de transmissão em 500 kV. Para comparação, a mesma avaliação é feita com TC classe TPY. Também é mostrado que simplesmente majorar a carga especificada do TC considerando classe P pode levar a equívocos para curtos-circuitos assimétricos. Por fim, é apresentado o comportamento do TPY em um ciclo triplo de religamento.

Perguntas e respostas:

A) O IT apresenta a análise do desempenho transitório de TCs tipo P e tipo TPY para fins de religamento de linhas de transmissão. TCs TPY mostraram-se eficientes e precisos para este tipo de aplicação, mas o tipo P não atende aos requisitos de precisão de medição necessários. Os autores poderiam comentar a respeito da possibilidade de aplicação de TCs tipo TPX e TPZ para aplicações em religamento de LTs?

Núcleos especificados com classe TPX: Esta classe também é aplicável para atender condições de regimes transitórios, ou seja, curto-circuito assimétricos. Contudo, esta classe não impõe limite para o fator de remanescência e impõe um baixo erro de fase na condição nominal de operação. Dessa forma, núcleos com esta classe não possuem entreferros e assim, não se desmagnetiza rapidamente. Sendo assim, o atendimento aos requisitos de exatidão no caso de religamento rápido se dá através da majoração do núcleo, o que não se constitui na solução mais econômica. Um núcleo TPY calculado para a mesma condição resultaria em um projeto de núcleo com menor seção em relação a um núcleo TPX. Núcleos especificados com classe TPZ: Os TC classe TPZ poderiam ser usados para aplicações de religamentos rápidos de LT pois apresentam, assim como os TC classe TPY, entreferros que proporcionam uma rápida desmagnetização do núcleo tão logo a corrente de defeito seja eliminada, deixando o TC rapidamente apto a uma nova solicitação de religamento sem sucesso. Contudo, esta classe não considera o valor total do erro, e sim apenas a componente AC, sendo necessário o uso de filtros como os existentes em relés digitais.

B) A norma IEC 61869-2 apresenta formulação para determinação do erro de TCs quando de sua aplicação em religamentos rápidos. Uma outra forma de se avaliar o desempenho do TC nestes casos é a simulação de seu desempenho em ATP, conforme realizado pelos autores. Os autores poderiam comentar sobre a precisão da formulação da IEC nestes casos e da conveniência da realização das simulações para verificação da aplicabilidade de um determinado TC para religamento de uma determinada LT?

A formulação matemática disponibilizada na Norma IEC 61869-2 apresenta precisão e praticidade suficiente para avaliação das necessidades referentes às diversas aplicações, sendo possível considerar o sistema de potência a partir da constante de tempo primária e nível de curto-circuito no ponto de instalação do TC. Uma das vantagens no uso do ATP é a possibilidade de extrair valores de corrente e tensão para serem aplicados à mala de teste de relé para confirmar que a proteção atuará corretamente. Dessa forma, cria-se uma maior sinergia entre a resposta real do TC e a atuação do relé para a avaliação do sistema de proteção, sistema TC + relé.

C) A taxa de falhas em TCs nos últimos anos no SIN tem sido um assunto que muito tem preocupado diversos atores do setor elétrico, particularmente o MME, ANEEL e ONS. Os autores poderiam comentar sobre as possíveis razões de ocorrência de tão elevadas taxas de falhas neste tipo de equipamento?

Os autores do artigo entendem que a pergunta não está relacionada ao tema do artigo. Em relação a falhas recentes em TC, alguns dos autores participam de um grupo de estudo no qual estão sendo conduzidas as análises pelo CEPEL sobre ocorrência de surtos de alta frequência decorrentes de manobras de chave seccionadoras e as consequências de tais surtos para o isolamento do TC.

3.16 - FILOSOFIA ADOTADA PELA CEEE-D PARA O ATERRAMENTO DE SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS "INDOOR"

TELLÍ, M.(1);STEFANO, C.R.(1);DIAS, G.A.D.(2);BAUER, G.A.T.(1); - CEEE-D(1);UFRGS(2);

Malhas de Terra de Subestações situadas em locais com restrição de espaço físico no seu entorno, apresentam dificuldade quando da necessidade de medição de parâmetros relacionados com o aterramento. Tal dificuldade caracteriza-se pela impossibilidade de estender os eletrodos dos circuitos de medição com os comprimentos indicados pelas normas e pela experiência (Curva ?S?). O Método de Medição de Malhas de Terra de SE?s (3MT) foi desenvolvido para permitir a medição dos parâmetros citados, utilizando reduzidas distâncias entre os eletrodos, sem a ocorrência de erros apreciáveis nos resultados ou com valores medidos que venham a favor da segurança de seres humanos.

Perguntas e respostas:

A) O IT mostrou que as medições realizadas em uma SE GIS ?indoor? resultaram em um valor máximo de tensão de toque produzido na instalação inferior a 1,2 Volts. Os autores fizeram avaliações dos possíveis riscos considerando os gradientes de potencial na entrada do edifício e nas imediações?

Sim, existe uma preocupação com os potenciais transferidos para fora da instalação. Assim, para cada SE GIS ?indoor? é avaliada a transferência de potencial para o exterior da SE.

B) Verifica-se que a impedância para reticulados de condutores varia aproximadamente com o quadrado das dimensões laterais da quadrícula do reticulado (Fig 7). Sabe-se também que em todos os sistemas implantados existe uma pressão por redução de custos dos empreendimentos. O autores poderiam fazer uma sensibilidade entre o grau de proteção proporcionado pela solução e os custos associados? Existiriam margens para redução dos custos?

O reticulado de condutores, ou seja: malha de equipotencialização a qual é embutida no concreto, é feita de aço galvanizado. Tal material é de uso freqüente na construção civil. Assim, condutores de cobre são utilizados no aterramento de ?potencia?.

C) Quais comentários os autores teriam sobre o grau de proteção do sistema de aterramento contra surtos de frente de onda íngreme entrando na subestação e passando para a terra através dos seus eletrodos de terra?

Pergunta interessante, pois a incidência de surtos atmosféricos, através do SPDA (ou mesmo induzidos), pode gerar diferenças de potencial importantes no interior da instalação. Os cuidados a se tomar, são os de tentar minimizar tais d.d.p.'s utilizando, p. ex., supressores de surto.

3.17 - MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE MALHAS DE TERRA DE SUBESTAÇÕES UTILIZANDO ESPAÇAMENTOS REDUZIDOS ENTRE ELETRODOS: O MÉTODO 3MT APLICADO NO GRUPO CEEE

TELLÍ, M.(1);JITSUKAWA, J.A.M.(1);BAUER, G.A.T.(1); - CEEE-D(1);

Subestações Isoladas a Gás (GIS) ocupam uma opção interessante devido ao pouco espaço que ocupam. O projeto do sistema de aterramento de uma GIS torna-se um desafio devido à menor área que ocupam e aos elevados níveis de curto-circuito. Considerando o espectro de frequências que pode existir em uma GIS, e o elevado nível das correntes de curto-circuito concebeu-se um sistema de aterramento formado por dois subsistemas: AP- Aterramento de Potência e AE- Aterramento de Equipotencialização. Medições realizadas em uma SE GIS ?indoor? indicaram que o valor máximo de tensão de toque produzido na instalação foi inferior a 1,2 Volts.

Perguntas e respostas:

A) Qual a distância mínima entre o EC e a malha de terra, em função do tamanho da malha, os autores julgam ser válido o método 3MT proposto?

Na impossibilidade de utilizar as distâncias sugeridas pelas normas, um valor que tem apresentado erros aceitáveis? está entre 1,5 a 2,0 vezes a maior diagonal da malha de terra sob teste.

B) A Tabela 1 apresenta o erro em função da distância entre a malha de terra e o EC. Os autores vêem a possibilidade de um segundo fator de correção no sentido de se obter um valor mais preciso, considerando estes resultados de erros, admitindo-se que eles obedecem um padrão?

Sim, existe a intenção de buscar um fator de correção?

C) Esclarecer a equação B. Ali está apresetado que $n=D/(2a)$. O que significa o "D"? Seria a diagonal da malha de terra experimental (pag 4) ou D é a distância entre o eletrodo de corrente (EC) e a malha de terra (pag 2)? E o "a" seria o raio da semi-esfera representando a malha de terra sob teste?

Os parâmetros D e a estão indicados na FIGURA 1 e representam: a distância entre a malha de terra sob teste e o eletrodo de corrente e o raio da semi-esfera, respectivamente.

3.18 - ANÁLISE DAS SUBESTAÇÕES ISOLADAS A HEXAFLUORETO DE ENXOFRE

CHIHAYA, W.(1);JUNIOR, E.R.(1); - UTFPR(1);

O presente trabalho é um estudo sobre Subestações Isoladas a Gás (GIS), cujo gás isolante é o Hexafluoreto de Enxofre (SF6), abordando aspectos de sua instalação e funcionamento, justificando a sua crescente utilização em subestações de distribuição na cidade de Curitiba pela Companhia Paranaense de Energia (Copel), tornando esse modelo a principal solução para áreas densamente povoadas que necessitam de um aumento no fornecimento de energia sem perder sua confiabilidade.

Perguntas e respostas:

A) Os autores indicam que um dos principais atrativos para o uso de subestação GIS e a reduzida área em comparação as subestações convencionais. É possível determinar a partir de que relação de valor do m2 de terreno existe o ponto de corte entre as tecnologias ?

O ponto de corte que define a utilização da tecnologia GIS ao invés da convencional, não está relacionada somente com o valor do m2, apesar de ser um fator determinante na maioria dos casos ele ainda não é o único. Em algumas situações a escolha do modelo a ser instalado está limitado a GIS, principalmente em casos de substituição de uma subestação antiga e de tecnologia defasada, incluindo a necessidade da ampliação da capacidade sem alterar a área disponível. Sendo assim não é possível generalizar a escolha de uma tecnologia somente pelo valor do m2. As opções de tecnologias em alguns casos está limitada a utilização do modelo GIS, sendo esse a única solução para instalações em áreas densamente povoadas, como por exemplo a necessidade da substituição de instalações antigas, as quais necessitam de uma ampliação da capacidade de fornecimento sem o aumento da área disponível.

B) Os autores apresentam as subestações GIS com a utilização do gás SF6. Entretanto, no mercado, diversos gases alternativos ao SF6 estão começando a serem propostos, principalmente na Europa, face as restrições legais (ambientais) para o uso do SF6. Sendo assim, os autores estudaram essas alternativas ?

A utilização do SF6 em subestações de energia é extremamente segura devido aos sistemas de controle da instalação e de baixo impacto ambiental, apesar de ser um gás colaborador com o efeito estufa. Nosso estudo não abrange a utilização de outros gases além do SF6.

C) O esquema de manobra apresentado para a GIS é o barra dupla a três chaves. Os autores fizeram uma avaliação da flexibilidade operacional deste arranjo ?

O estudo não abrange a modelos de arranjo operacional da GIS, mas esclarece a sua grande flexibilidade de arranjos devido ao seu aspecto modular.

3.19 - RECAPACITAÇÃO DO SETOR 230 KV PARA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO DE 63 KA NA SUBESTAÇÃO GRAVATAÍ 2

PALUDO, L.H.(1);ANTUNES, P.F.R.(1);ARGENTON, E.B.(1);FILIPIN, S.E.(1); - CEEE-GT(1);

Este informe técnico apresentará o desenvolvimento da solução técnica proposta de uprating para a capacidade corrente de curto-circuito de 63 kA do setor de 230 kV da Subestação Gravataí 2 em função da superação de todos os equipamentos dos vinte e sete módulos de manobra deste setor a partir da entrada em operação das instalações licitadas no Leilão de Transmissão ANEEL 004/2014. A proposta deste trabalho é contribuir para o estudo e a avaliação de alternativas para futuras subestações com equipamentos superados em função da elevação do nível da corrente de curto-circuito que necessitem este uprating.

Perguntas e respostas:

A) Como foi realizado o processo de aprovação e aurotização da solução na ANEEL e ONS ?

O processo de aprovação desta solução ocorreu através de Grupo de Trabalho específico coordenado pelo MME, com participação da ANEEL, EPE, ONS, CEEE-GT e Eletrosul. Neste momento, solução está em processo de autorização pela ANEEL. Esta questão é foco do trabalho que será apresentado no Informe Técnico GPL-28.

B) Como fica a flexibilidade operacional desta solução (conforme exigência da nova revisão dos procedimentos de rede) ?

A premissa desta solução é atender à condição básica para o novo barramento 230 kV com o arranjo barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves, conforme o estabelecido nos Procedimentos de Rede - Submódulo 2.3 ? item 7.1.1.1 (a), mantendo assim a flexibilidade operativa mínima, disponibilizando chaves de by-pass em cada módulo de manobra.

C) Em relação aos barramentos aéreos, os mesmos foram dimensionados considerando os esforços dinâmicos de curto-circuito ? Como foi tratado esse efeito nas estruturas metálicas e fundações da subestação ?

Para o desenvolvimento do projeto básico, que visa a contratação da obra, foi elaborado um estudo para estimar os esforços dinâmicos produzidos pela futura corrente de curto-circuito de 63 kA - 0,5 s (tempo para o maior pico do Esforço Máximo Dinâmico). O cálculo dos esforços dinâmicos foi realizado de acordo com o que preconiza a Norma IEC 60865-1 Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1 - Definitions and calculation methods que leva em conta os níveis de curto-circuito, flechas, quantidade, dimensões e tipo dos espaçadores utilizados em feixes de 2 ou 3 condutores, cadeias de isoladores, estruturas metálicas e cabos condutores empregados. Tal método permite avaliar os esforços dinâmicos e os esforços estáticos equivalentes nas estruturas terminais (dead end) devido a aproximação dos condutores do feixe da mesma fase (conductor clashing) e aproximação dos condutores de fases diferentes. Os Esforços Máximos calculados são dinâmicos de pico, considerando a "aproximação entre condutores de fases distintas" e a "aproximação de sub condutores da mesma fase" (conductor clashing), onde cabível. Nesse sentido, os esforços estáticos equivalentes aos esforços dinâmicos de pico (esforços máximos) foram utilizados para o pré-dimensionamento das estruturas e fundações. Como a obra ainda está em processo de autorização pela ANEEL, o projeto executivo ainda não foi elaborado e por isso todas essas questões serão rediscutidas quando da elaboração deste projeto executivo.

3.20 - COMPARATIVO ENTRE ARRANJOS BD4/BD3 E TECNOLOGIAS AIS/MTS PARA SUBESTAÇÃO MANOEL DA NÓBREGA 230/138 KV - 450 MVA E 230/88 KV - 225 MVA

FALCÃO, G.(1);PUGA, C.(1); - ABB(1);

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma comparação técnica, do ponto de vista de confiabilidade do sistema elétrico, entre possíveis soluções para os pátios de 230 kV, 138 kV da Subestação Manoel da Nobrega, justificando-se a adoção de tecnologia híbrida para os equipamentos de alta tensão. Segundo item 6.1.1.1 do Sub módulo 2.3 dos Procedimentos de Rede [1] definidos pelo ONS para o SIN (Sistema Interligado Nacional), os arranjos de barramentos para subestações com isolamento a ar do sistema de transmissão da rede básica com tensão de 230 kV deve ser barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves. No entanto, no item 6.1.2 da mesma referência, é mencionada a possibilidade de utilização de arranjos de barramento alternativos com isolamento em SF-6, desde que apresentem desempenho igual ou superior ao dos arranjos estabelecidos no item 6.1.1.1, comprovado por meio de estudos de confiabilidade. O estudo de confiabilidade é um fator-chave para a avaliação técnico-econômica de soluções de subestações, sendo aplicado para determinar o desempenho de um arranjo e tecnologia dos equipamentos de uma subestação. Os parâmetros de desempenho resultado deste estudo são os índices de indisponibilidade da subestação. Assim, um estudo de confiabilidade para a subestação Manoel da Nóbrega foi elaborado, com objetivo de comparar a disponibilidade de subestação com equipamentos isolados a ar (AIS) e com equipamentos híbridos (MTS). O arranjo de barramentos para subestação Manoel da Nóbrega com equipamentos híbridos (MTS) considerado é barra dupla com disjuntor simples a três chaves, e o arranjo de barramentos considerado para a solução convencional (AIS) é de barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves. O trabalho visa mostrar as análises e avaliações por disponibilidade da conexão entre os pátios de 138 kV e 230 kV da subestação Manoel da Nóbrega, considerando transformador trifásico e banco de transformadores monofásicos.

Perguntas e respostas:

A) O trabalho apresenta um comparativo do desempenho entre as soluções AIS e MTS no que diz respeito a confiabilidade e disponibilidade. Com a nova revisão dos procedimentos de rede, a flexibilidade operacional passou também a ser um requisito. Sendo assim, em relação a flexibilidade operacional, como será o desempenho do arranjo MTS proposto ?

O trabalho apresentado fora elaborado e discutido no ano de 2015, antes da atual revisão do procedimento de rede quanto a flexibilidade operacional. Atualmente, acreditamos que para subestações em 230 kV, com conexão à rede básica, o arranjo de barramento duplo a quatro chaves deva ser mantido, seja ela uma solução AIS, MTS ou GIS. Em função disto, o arranjo proposto neste trabalho (BD3), apresenta uma condição menos flexível quando comparado com o arranjo AIS (BD4), uma vez que não considera a 4ª chave de by-pass em cada bay de linha ou transformador. A revisão do Submódulo 2.3 mostra que o conceito de "flexibilidade operativa" não é explorado suficientemente, de maneira que fica para interpretação do ONS caso a caso. Particularmente, eu Glauco Falcão acredito que o arranjo com MTS deva

ser BD4 em vez de BD3. Porém outros especialistas que auxiliaram neste estudo concordam em dizer que, haja vista, em termos de índices de confiabilidade, o arranjo MTS BD3 apresenta resultados superiores ao MTS BD4, uma vez que não conta com um elemento convencional adicional sujeito a muito mais falhas do que a tecnologia MTS.

B) Os autores apresentaram um tempo de reparo para os equipamentos híbridos de 10h. Esse tempo de reparo, além de considerar a existência de um módulo reserva na subestação, considera mais o que? A movimentação do módulo será com ele completamente pressurizado com SF6? Deverá existir uma equipe de plantão próxima e com um caminhão capaz de fazer a substituição? Existe algum requisito para o arranjo eletromecânico da subestação para possibilitar essa troca em 10 h?

Do ponto de vista de cálculo teórico: este tempo de reparo considera, além da existência de um módulo reserva na subestação, da presença da equipe de manutenção presente na mesma, pronta e preparada com devido maquinário para intervenção após desligamento do bay. Um caminhão munck ou guindauto se faz necessário para a movimentação do equipamento quando da intervenção, despressurizado. É importante indicar que a experiência obtida junto a Chesf nos mostrou que 10h para troca um módulo 230 kV completo é muito pouco. O ideal seria algo na faixa de 20 a 25h. Mas o mais importante a ser notado é que o conceito de MTTR considera, estatisticamente, tanto a ocorrência de minor failures (falhas menores que são rapidamente reparadas) quanto major failures (falhas que exigem grandes tempo de reparo ou substituição do equipamento). MTTR de 10h não significa que o tempo máximo para troca, mesmo tendo módulo reserva, tenha que ser de 10h.

C) Em relação aos dados estatísticos dos equipamentos híbridos os autores citam a referência [6] (não está descrita no texto). Qual foi a metodologia e qual o tempo de observação para elaborar essa estatística? As falhas recentes no Brasil estão computadas?

Pedimos desculpas pela falta da referência [6] citada. A ausência da mesma se justifica por um erro de digitação do trabalho. A metodologia utilizada baseou-se nos conceitos de cálculos para confiabilidade e disponibilidade de subestações, através do software SubRel, específico para este tipo de análise. Os valores para tal cálculo são obtidos através de informações oficiais sobre MTS definidas pelas principais entidades da área (CEA e o próprio Cigré). Elas têm a responsabilidade de fazer uma análise estatística de falhas pelo mundo e propor novos valores, os quais ainda não estão disponíveis. As falhas recentemente ocorridas no Brasil não foram computadas pois, na época da realização do estudo elas não haviam ocorrido.

Comentário: A referência [6] indicada no trabalho não é apresentada no item Referencias Bibliograficas

3.21 - REISOLAMENTO DA SUBESTAÇÃO COLOMBO 69KV PARA 138KV COM UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA GIS.

OLIVEIRA, R.C.K.D.(1);MATTOS, J.M.D.B.(1); - COPEL(1);

O presente trabalho apresentará o desenvolvimento da solução técnica adotada para possibilitar a conexão da subestação Colombo 69 kV à subestação Curitiba Norte 230/138 kV, proveniente do lote 6F do leilão de transmissão Aneel de novembro/2013. O foco principal do trabalho é demonstrar as vantagens levantadas na utilização da tecnologia GIS (Subestação Isolada a Gás) no reisolamento da Subestação Colombo de 69 kV para 138 kV, em comparação com a tecnologia AIS (Subestação Isolada a Ar) ou convencional?

Perguntas e respostas:

A) Os autores fizeram uma avaliação no tempo de vida útil das soluções estudadas? Se considerar o tempo total a solução GIS também não seria mais atrativa economicamente?

Não foi realizado um estudo com relação a vida útil das soluções, pois a viabilidade econômica já foi obtida evitando as sanções administrativas que poderiam ser impostas a Copel em um valor superior a 20 milhões de reais. Segundo alguns fabricantes uma subestação GIS estaria livre de manutenção por 20 anos. Sendo assim, se somarmos o valor gasto com manutenção em uma subestação convencional durante este período o valor final seria maior que a tecnologia GIS, porém não dispomos destes dados para fins comparativos.

B) O arranjo da subestação 138 kV é barra dupla a 3 chaves? Em relação a confiabilidade e disponibilidade com certeza o ganho é enorme, mas foi realizado alguma avaliação da flexibilidade operacional?

O arranjo da subestação 138kV convencional utilizado pela Copel é Barra Principal e Transferência. O padrão adotado pela Copel distribuição para construção de subestações GIS é barra dupla 3 chaves, com isso obtemos uma flexibilidade operacional bem maior que o sistema convencional. Entretanto o foco do trabalho foi a verificação do sistema que atenderiam as 3 principais premissas, Continuidade no fornecimento de energia durante a obra, menor redução da confiabilidade do sistema também durante a obra, e atendimento ao prazo.

C) Como foi realizado o processo de aprovação e aurotização da mudança de tecnologia na ANEEL e ONS?

Para as distribuidoras não existe a necessidade de aprovação do tipo de sistema a ser utilizado, porém é necessário ser comprovado que o investimento no sistema é prudente. No caso do reisolamento da SE Colombo, a utilização de uma subestação isolada se mostra a melhor solução técnica, pois não compromete a confiabilidade do sistema durante a obra.

Comentário: Os autores modificaram o título do trabalho.

3.22 - ESTUDO DE COMPACTAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DE CLASSE DE TENSÃO DE 145 KV, ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E PROJETO BÁSICO DA ETC BROOKFIELD TOWERS.

CAMARGO, J.D.M.(1);MORENO, R.F.(1);JUNIOR, G.F.(1); - EPTE(1);

Este informe técnico descreve o estudo de caso referente ao estudo de viabilidade técnica e desenvolvimento do projeto básico da subestação Brookfield Towers, a ser conectada no sistema elétrico da AES Eletropaulo na tensão de 88/138 kV, mostrando as dificuldades para implantação dessa subestação num empreendimento onde estava previsto somente a instalação de uma cabine primária em 34,5 kV. O informe técnico detalha as alternativas estudadas desde uma subestação convencional a uma compacta e, também uma análise de uma subestação subterrânea. Essas análises não são somente realizadas no âmbito técnico e financeiro, como normalmente são nos projetos desse porte, mas também teve uma análise de legislação e normalização como também uma análise da arquitetura externa da subestação, visualização do ambiente.

Perguntas e respostas:

A) Os autores poderiam apresentar um diagrama unifilar da solução final (diagrama elétrico e de compartimentação do gás)?

Sim é possível apresentar. No dia da apresentação estarei encaminhando.

B) Foi realizado um comparativo entre as alternativas em relação ao investimento inicial e o custo de manutenção e indisponibilidade ao longo da vida útil da subestação?

Não foi realizado. Somente um comparativo das possíveis soluções a serem implementadas. No processo de análise junto ao cliente, foram colocadas as dificuldades de manutenção de cada alternativa e seu impacto.

C) O projeto do sistema de aterramento foi convencional? Foi necessária a utilização de alguma solução especial? Como ficou as tensões transferidas para outras áreas do complexo?

Sim, foi uma solução convencional, mas de forma diferenciada. Não consta dos anais do artigo, pois o projeto executivo é de responsabilidade do Engº Carlos Alberto Sotille. Mas posso adiantar que foram realizadas três malhas de aterramento, sendo duas de captação no andar térreo e na cobertura, e uma malha de dissipação no subsolo do 5º andar. Pelos cálculos realizados e pelas medições que estão sendo realizadas, não existirá a ocorrência da transferência de potencial para outras áreas.

3.23 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ESFORÇOS DEVIDOS AO EFEITO DA PASSAGEM DE CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO EM BARRAMENTOS FLEXÍVEIS DE SUBESTAÇÕES ISOLADAS A AR SIMULTANEAMENTE À AÇÃO DOS VENTOS, SEGUNDO AS NORMAS NBR 5422, NBR 6123 E DA NBR 8681

CARDOSO, I.D.P.(1);FARIA, R.(1);VIOLIN, A.(2);NETO, E.T.W.(2);SILVA, R.R.D.(1);GUIMARÃES, A.C.(1); - TSE(1);UNIFEI(2);

Este trabalho apresenta uma comparação entre os resultados de esforços devidos à corrente de curto-circuito, de acordo com a norma IEC60865-1, em barramentos flexíveis de subestações isoladas a ar, considerando a ação simultânea da carga de vento, de acordo com as normas NBR 5422, NBR 6123 e NBR 8681. O trabalho é fruto de um projeto realizado entre os anos de 2014 e 2015 no qual o dimensionamento de estruturas para uma subestação de 500 kV no norte do país gerou muitas discussões. O acesso a diversas memórias de cálculo para dimensionamento de estruturas mostrou que não há um entendimento pleno dos conceitos envolvidos e das considerações necessárias para a aplicação das normas citadas. Concluiu-se que existe diferença entre a aplicação das duas normas para considerações acerca do vento no cálculo final dos esforços devidos ao curto-circuito. Entretanto essa diferença não é expressiva. Questiona-se, entretanto, a necessidade desta consideração, uma vez que as brochuras do CIGRE que dão origem à norma IEC 60865-1 não exigem que seja feita a consideração de ação simultânea de carga de vento e curto-circuito.

Perguntas e respostas:

A) O que os autores recomendam como procedimento mais adequado para o dimensionamento?

Recomenda-se que as considerações das normas sejam adotadas. O efeito do curto-circuito deve ser, portanto, de acordo com a norma IEC 60865-1, determinado sem

ação simultânea dos ventos.

B) Os autores avaliaram como esses esforços dinâmicos devem ser considerados no dimensionamento das estruturas e fundações das subestações (a maioria das empresas consideram esse esforço como uma carga estática) ?

A brochura 214 do CIGRE menciona que os esforços de swing-out e de drop back são considerados como cargas quase-estáticas e o esforço de pinch como uma carga impulsiva, mas na norma há menção de que a máxima força entre swing-out, drop back e pinch deve ser considerada para o dimensionamento como uma carga estática (item 6.5.2 da IEC 60865-1). Para sistemas trifásicos, o efeito dos esforços dinâmicos deve ser adotado em apenas duas fases sendo que, para a terceira fase, apenas os esforços estáticos devem ser considerados. Para as fundações, também de acordo com a norma IEC 60865-1 (item 6.5.3), os efeitos dinâmicos não devem ser levados em consideração na fase de projeto desde que as mesmas sejam fundações monolíticas. Com relação ao procedimento adotado por empresas, o que pôde ser observado, a partir do acesso a diversas memórias de cálculo, é que as cargas são consideradas como cargas estáticas.

C) Um outro parâmetro importante para os esforços (destacadamente na força de pinch) é a separação entre subcondutores, os autores fizeram alguma avaliação destas separações ?

A separação entre os subcondutores afeta fortemente os esforços devidos ao pinch - altera a condição de colisão efetiva ou não dos subcondutores e, conseqüentemente, o valor final calculado. Uma análise detalhada não foi realizada neste trabalho devido às limitações de tamanho do artigo. Uma dissertação de mestrado está em fase final de elaboração e uma análise de sensibilidade para os diversos parâmetros envolvidos no cálculo dos esforços dinâmicos foi realizada.

3.24 - METODOLOGIA DE REDUÇÃO DE CUSTOS DE FUNDAÇÕES EM OBRAS DE SUBESTAÇÕES

PICCOLO, R.D.B.A.(1);ROCHA, R.A.B.(1);VASCONCELOS, D.D.R.(1); - AES ELETROPAULO(1);

A aplicação da metodologia DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve e Control) é uma proposta viável para promover a melhoria contínua na construção de subestações. Nesse contexto a subestação ETD Granja Viana teve seu projeto de fundações elaborado continuamente. Esse método consistiu em considerar a variabilidade do ensaio de sondagem SPT, realização de ensaios de fundações e controles técnicos conforme exigido NBR 6122/2010. A partir dos resultados o projeto de fundações foi revisado ciclicamente durante a execução da obra gerando uma economia de mais de um milhão de reais.

Perguntas e respostas:

A) Os autores consideram como premissa inicial que toda a subestação seria com estacas. Porque essa foi a premissa inicial (na maioria das empresas estaca são fundações especiais utilizadas em último caso) ?

Os equipamentos da subestação possuem conexões elétricas que precisam estar bem fixas e estáveis por períodos de ao menos 30 anos. Por isso, recalques de fundações não são admitidos nesse tipo de empreendimento. Toda edificação ou equipamento apoiado no solo estão sujeitos a uma acomodação natural do solo chamada de adensamento. Uma parte expressiva do solo no Brasil é chamada de solo colapsível, justamente por apresentar esse tipo de comportamento: São solos porosos e secos que apresentam resistência, porém em contato com fluidos seja da água pluvial ou ruptura de tubulações enterradas, tais solos perdem a resistência e cedem sob o peso acima dele. Esse tipo de solo é comum no Distrito federal, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso do Sul, Pernambuco e ocupa cerca de 60% do estado de São Paulo. Considerando essas duas características: (1) Ligações elétricas dos equipamentos da subestação e a sua importância operativa para a sociedade e (2) Tipo de solo colapsível, temos que: Os equipamentos da subestação devem ficar apoiados sob fundações profundas para prover confiabilidade no sistema elétrico. Dentre as alternativas de fundações profundas a mais econômica é estaca escavada ou tubulão. Todavia esse tipo de fundação não pode ser executado em solos com nível de água aflorado próximo da superfície. Na sequencia estacas pré-moldadas de concreto podem ser usadas em solos com qualquer posição de nível de água desde que não sejam compactos com SPT maior que 20. No caso de solo compacto com SPT maior que 20 aplica-se o uso de estacas metálicas. Em último caso, em obras urbanizadas próximas de edificações que não podem sofrer efeitos de vibração do bate estaca, aplica-se estaca metálica vibrada ou estaca injetada tipo raiz.

B) O processo de revisão cíclico das fundações gera algum impacto no cronograma de construção da subestação ? em quais pontos a construção é interrompida para realização dos ensaios, otimização e novo projeto ?

O processo de revisão das fundações não gera impacto no cronograma da obra porque ele aplica-se apenas para as estacas que ainda não foram executadas. O estaqueamento não precisa paralisar para aguardar o a revisão do projeto. A execução do bate estaca é interrompida por dois dias para poder fazer o ensaio de prova de carga estático tipo lento. O primeiro dia dessa paralisação é para fazer o carregamento do ensaio e o segundo dia para o descarregamento. Esse ensaio utiliza sensores que não podem sofrer interferências da vibração do bate estaca. Por outro lado, demais serviços podem ser executados durante o ensaio e inclusive no dia em questão estava sendo feito concretagem de base de equipamento, execução de muro de divisa, montagem de armação, montagem de forma para concretagem, colocação de esquadrias na edificação. Em suma, apenas o base estaca precisa ficar paralisado e os demais serviços podem ser feitos.

C) Como o empreendimento é contratado ? Essas etapas de otimização das fundações estão dentro do contrato de construção do empreendimento ?

O empreendimento é contratado em duas divisões principais: (1) Contratação de uma empresa para construir a subestação: Executar as fundações, edificação, muro, bases de equipamentos, barramento e demais serviços dessa construção; (2) Contratos de fornecimento de equipamentos: transformador, TP, TC, para-raio, Disjuntor, Blindados, Chave seccionadora. As etapas de otimização das fundações estão no contrato de construção do empreendimento na forma de especificação técnica de construção de subestação. Ou seja, os itens relativos a otimização das fundações estão inseridos na especificação técnica que informa todas as diretrizes para construir o empreendimento. As estacas são pagas por metro cravado e assim é possível gerar economia nessa modalidade de contratação.

3.25 - LOCALIZAÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS PELO MÉTODO DAS ONDAS VIAJANTES FORA DA REGIÃO DE COBERTURA DAS ANTENAS UHF

MARTINS, H.J.A.(1);CARVALHO, A.T.D.(1);AMORIM, H.D.P.(1);SOUZA, D.(1);TORRES, L.(1);DELGADO, R.(1);MENEZES, R.C.D.(1); - CEPEL(1);

O monitoramento de descargas parciais (DP) em subestações isoladas a gás (gas insulated substation - GIS) é uma ferramenta de grande utilidade para a avaliação e o diagnóstico destes equipamentos. Praticamente todas as GIS produzidas atualmente são fornecidas, senão com o sistema de monitoramento de DP em UHF já integrado, pelo menos com os sensores disponíveis no equipamento. Este artigo apresenta um caso de sucesso no qual a localização dos defeitos apresentou desafios particularmente difíceis: contornar a baixa relação sinal-ruído sem o auxílio de amplificadores ou filtros de UHF através de técnicas de processamento digital de sinais, e localizar com precisão defeitos fora da região de cobertura dos sensores.

Perguntas e respostas:

A) A técnica apresentada no IT para monitoramento de GIS por intermédio de medições de descargas parciais pela medição de sinais de UHF carece da utilização de diversos sensores instalados na GIS. No artigo, uma combinação de sensores internos e externos foi adotada. Pergunta-se, seria possível adotar-se apenas sensores externos, uma vez que os mesmos são de fácil instalação e podem ser deslocados para diferentes partes da GIS analisada, como forma de procura do ponto gerador de PD?

No caso específico desta GIS os sensores davam indicação de um defeito num determinado compartimento, porém, por ser um compartimento de conexão de cabo XLPE ao barramento da GIS, não era possível a localização do defeito. Por ser uma GIS de tecnologia mais recente, os espaçadores são encapsulados, não havendo acesso para sensores tipo UHF. Outra característica é o recobrimento do invólucro com uma camada espessa de epóxi, o que inviabilizou o uso de sensores de emissão acústica. Após a primeira indicação de defeito pelo sistema de monitoramento residente, foi realizada a abertura da GIS para manutenção. Nesta etapa não foi localizada a região do defeito, porém, após a reenergização, novamente, o sistema apontou o mesmo defeito. Assim ficou definida a instalação de sensores externos para localizar com precisão o ponto do defeito e então realizar uma intervenção mais criteriosa. Os sensores UHF externos foram instalados nos locais mais próximos a antena interna que apresentava o alarme de defeito, com neste caso foi na junção cabo XLPE-barramento.

B) Técnicas de monitoramento e diagnóstico em subestações isoladas a gás têm sido aplicadas há várias décadas a este tipo de subestação. Entretanto, ainda não existe uma unanimidade de posições de especialistas sobre a eficácia de sua aplicação. Os autores poderiam comentar a respeito da evolução da aceitação deste tipo de técnica a nível nacional e internacional?

Em passado não muito distante, algumas técnicas ainda carentes de amadurecimento, foram aplicadas e até inseridas nesses equipamentos. Atualmente, dispõe-se de técnicas eficazes, principalmente, na identificação do tipo de defeito e sua localização, porém, ainda encontra-se deficiente a quantificação (pC) do defeito. Em alguns casos é feito o acompanhamento do defeito pelo nível de atividade medido (mV). Caso haja evolução é tomada alguma ação corretiva, uma vez que, qualquer intervenção em uma GIS requer extrema cautela, para que não seja inserida uma nova fonte de defeito, por exemplo, contaminação por partículas e/ou umidade.

C) De acordo com a experiência dos autores, faz mais sentido o monitoramento constante de subestações isoladas a gás, ou o monitoramento pontual por ocasião de colocação em serviço ou durante manutenções periódicas?

O monitoramento durante comissionamento é essencial e evita transtornos relativos à montagem e limpeza. Para as GIS, equipamentos considerados ?maintenance free?, portanto, são raras as manutenções periódicas, mas também é fundamental um monitoramento após alguma intervenção. O monitoramento contínuo, com certeza, traz mais benefícios, principalmente, na identificação do defeito em sua fase incipiente.

3.26 - PLANEJAMENTO DE AMPLIAÇÃO EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA, COM USO DE REALIDADE VIRTUAL

PRADO, P.R.M.D.(1);JR, C.D.L.B.(2);CARDOSO, A.(2);SILVA, A.C.(2);LOMOUNIER, E.(2);LIMA, G.F.M.D.(2);MATTIOLI, L.(2); - CEMIG GT(1);UFU(2);

Este trabalho apresenta uma abordagem inovadora para simular ampliações de subestações de Energia Elétrica por meio da Realidade Virtual (RV). A utilização das técnicas de RV permite a criação de uma interface homem-máquina natural, permitindo ao usuário interação, navegação e imersão em um ambiente tridimensional gerado por computador. Tais características capacitam a visualização, por meio de ambientes virtuais assemelhados aos ambientes reais, de forma mais intuitiva que, as tipicamente apresentadas, CAD. O desenvolvimento desta solução está associado a conceber ambiente virtuais que representam fielmente as subestações de Energia

Elétrica de uma concessionária e as possíveis intervenções para modificação dos arranjos.

Perguntas e respostas:

A) A Figura 1 apresenta a Realidade Virtual no "Slope of Enlightenment" (Inclinação da Iluminação). No entanto, a cor de preenchimento do círculo indica que o "Plateau of Productivity" (Platô da Produtividade) será alcançado entre 5 a 10 anos. Estando esta tecnologia já na curva ascendente do gráfico, este tempo não estaria muito longo? O que os autores podem comentar sobre a expectativa futura desta tecnologia em termos de tempo?

A edição 2017 do referido gráfico apresenta Realidade Virtual no Platô de Produtividade, com indicação de que a mesma representa uma das mais profícuas áreas de desenvolvimento e pesquisa atuais. Já é realidade em diversas áreas e está em franco desenvolvimento em outras.

B) O IT citou que a etapa mais demorada é a modelagem dos elementos em função, principalmente, de eventuais dificuldades associadas à grande quantidade de documentos que não estão em formato digital. Os autores poderiam detalhar mais informações relacionadas aos tempos envolvidos para modelagem dos equipamentos e a quantidade de pessoas envolvidas?

O tempo dispendido para modelagem, bem como a quantidade de horas e mão de obra necessários são dependentes do equipamento em voga e das instalações. Há, em alguns casos particulares, possibilidade de redução de tais variáveis, por reuso de modelos equivalentes.

C) Como este sistema auxilia na determinação das distâncias de segurança e proteção e possíveis ocorrências de interferências? Existem alguma funcionalidade de cálculo automático?

Não há funcionalidade de cálculo automático de distâncias. É muito difícil se estabelecer, por exemplo, um trens virtual, pois dependendo da perspectiva de visualização ela poderia trazer valores falso ao observador. No entanto, na modelagem das novas etapas de uma ampliação é fácil se identificar interferências e possíveis falhas em projetos pois tudo é modelado em tamanho real.

3.27 - INSTALAÇÃO DE CORTINAS ACÚSTICAS EM BANCOS DE TRANSFORMADORES, PARA DIMINUIÇÃO DE NÍVEIS DE RUÍDOS EM TORNO DA VIZINHANÇA DA SE JANDIRA

SOUZA, P.H.D.(1);NEVES, J.D.D.(1);ALVES, W.T.(1); - CTEEP(1);

Este trabalho apresenta a solução encontrada pela CTEEP para a mitigação do ruído proveniente dos transformadores de potência instalados na SE Jandira, 1200 MVA, 440 / 88 kV, localizada em área de uso misto, predominantemente residencial, onde após sua construção no ano de 2012, foi constatada a necessidade de instalação de barreiras acústicas, para enquadrar os ruídos provenientes da subestação dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR 10.151 que é de 55dB para período diurno e 50dB para período noturno, pois o ruído acima do permitido estava afetando os moradores circunvizinhos.

Perguntas e respostas:

A) Quais as ações, prevista pelas normas, para o caso de uma SE que tenha sido implantada em área isolada e posteriormente tenha sido ocupada por áreas residenciais no seu entorno?

Independente de ter sido instalada em área isolada, o que baliza o nível de ruído é plano diretor da cidade. Em Jandira foi considerada a região como zona mista predominantemente residencial, a NBR 10.151:2003 ? Acústica ? Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade ? Procedimento, considera que os valores de ruído não ultrapasse 55dB diurno e 50 dB noturno.

B) Existe algum tipo de preocupação quanto às induções eletromagnéticas, tensões induzidas em eventuais partes metálicas, trilhos, etc?

Sim, foram consideradas as questões Eletromagnéticas e de Tensões Induzidas, com isso tomamos o cuidado de aterrar todas as estruturas metálicas.

C) Esclarecer mais detalhadamente os resultados apresentados na Figura 6, onde indica níveis máximos até 20 dBA. Adicionalmente esclarecer as implicações no projeto acústico quando da implantação de SE em área com níveis de ruído já atingindo os limites da norma antes do início das obras?

A figura 6 retrata o direcionamento de ruído após a primeira intervenção (instalação da parede côncava e prolongamento das paredes corta fogo), já o limite de 20 dBA exposto na figura informa o nível máximo de ruído proveniente dos transformadores que esta acima do estabelecido pela norma, porém nos limites da área da SE Jandira estávamos com 8 dBA acima do estabelecido por norma. Antes do início da obra é realizado a contratação de uma empresa a fim de realizar o mapeamento do ruído, e se identificado níveis de ruído acima do estabelecido por norma é realizado uma investigação com a finalidade de identificar a procedência do ruído.

3.28 - DETECÇÃO, INVESTIGAÇÃO E CORREÇÃO DAS ATIVIDADES DE DESCARGAS PARCIAIS EM BLINDADAS A SF6 138 KV NA SUBESTAÇÃO OLÍMPICA - EXPERIÊNCIA LIGHT

RQUIERI, R.R.D.S.(1);PEIXOTO, C.D.(2);TRIPODI, R.S.(3);NEVES, F.J.(4);RODRIGUES, F.M.O.(5);SOUZA, P.C.D.(2);VIULA, T.P.(2); - Light(1);LIGHT(2);Light(3);Light(4);Light(5);

Este trabalho tem por objetivo apresentar a experiência da concessionária de energia elétrica, Light SESA, nas medições de descargas parciais (DP), e ações para a sua eliminação, em uma subestação nova transformadora 138 / 13.8kV com conjunto blindado isolado a SF6 (GIS). Nessa subestação utilizou-se um sistema de monitoramento em tempo real de descargas parciais (PDMS) com sensores UHF instalados no interior da GIS, ferramenta fundamental na detecção de DP, que juntamente à outras metodologias permitiram a localização e tomadas de decisões para sua eliminação ou monitoramento. O trabalho apresenta o detalhamento das metodologias empregadas e histórico das atividades realizadas.

Perguntas e respostas:

A) A experiência dos autores na implantação deste projeto foi positiva no sentido de recomendar a utilização da tecnologia GIS de forma mais geral?

Resposta 1

B) Compartilhar as experiências operativas da concessionária na operação deste sistema.

Resposta 2

C) Os autores utilizaram ou estão utilizando atualmente ferramentas de Inteligência Artificial (IA) como uma alternativa para o diagnóstico das causas das Descargas Parciais?

Resposta 3

3.29 - SISTEMA DE MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO POR DIFERENÇAS PARCIAIS DE POTENCIAL SELETIVAS EM FREQUÊNCIA E TENSÕES DE PASSO E TOQUE PARA SUBESTAÇÕES ENERGIZAD

MAGUERROSKI, D.(1);BARBERO, A.P.L.(2);ZANCO, W.D.S.(2);GERMANO, S.B.(2);SILVA, J.M.M.D.(2); - ELETROSUL(1);UFF(2);

A segurança e integridade de subestações motivaram ações de aprendizagem de métodos e práticas de medições no sistema de aterramento de subestações energizadas desde 2001 pela Eletrosul e o desenvolvimento de um protótipo funcional, de alta sensibilidade em tensão e seletividade em frequência através de um projeto de P&D ANEEL, tendo como executora a Universidade Federal Fluminense - UFF. A forma de injeção de corrente na malha de terra, as condições de contorno, a medições no sistema de aterramento tratamento dos dados medidos, geração de relatórios e medições complementares de conexões serão descritos no artigo.

Perguntas e respostas:

A) A experiência no Brasil tem mostrado diversos exemplos de bons projetos de P&D que se perdem após a conclusão dos trabalhos. Qual a expectativa dos autores na consolidação da aplicação deste desenvolvimento de forma mais generalizada e profissional no setor elétrico?

O projeto em referência tem características necessárias para prosseguimento na cadeia de inovação de projetos de P&D ANEEL. Estamos viabilizando a PI e está sendo considerado para etapa Cabeça-de-série já com participação de empresas fabricantes que possam vir a colaborar em sua otimização já com vistas às etapas seguintes Lote Pioneiro e Inserção de Mercado. Ao término do projeto foi verificado que a solução desenvolvida atende às necessidades dos usuários e tem a possibilidade de ter um custo de aquisição bastante competitivo.

B) Detalhar as ações e iniciativas vislumbradas pelos autores relacionadas aos desafios futuros a serem desenvolvidos, conforme relacionados na conclusão do IT.

Nas conclusões abordamos 03(três) desafios: a) O sistema de medição, seja de potencial ou de passo e toque pode ser segregado da seguinte forma: a.1 - Meio a.2 - Medição a.3 - Injeção de corrente Meio - Quanto ao meio, entendemos que a injeção de corrente via cabo de cobertura ou para raios, é a forma mais adequada, pois exige apenas um ou dois pontos de desconexão com a estrutura da torre, não envolve parcela variável e todo agente do setor elétrico contra com equipes de linhas de transmissão, seja rede básica ou não. Nesse cenário, uma oportunidade de estudos seria em uma torre de suspensão o uso de chaves de estado sólido para injeção de corrente por um curto espaço de tempo, sem tirar a função elétrica da conexão entre o cabo de cobertura e a estrutura da torre. Nesse caso, uma vez instalado o dispositivo desenvolvido, não haveria mais necessidade das desconexões pelas equipes de linha. Medição: O artigo apresenta a solução de um medidor seletivo desenvolvido, e o desafio é a miniaturização do mesmo, que foi abordado na pergunta do deste REP. Cabe ressaltar que a tecnologia está dominada e deverão seguir os próximos passos da cadeia de inovação e tornar o medidor o mais simples e amigável ao operador, como por exemplo, nas dimensões de um multímetro digital. Injeção de corrente: Em 2015, a Eletrosul lançou um edital público para desenvolver uma injeção de corrente para estimular a malha de terra conforme texto abaixo, que exprime a intenção futura abordada no desafio. Código Demanda: ESUL05/2015 Título: DESENVOLVIMENTO DE UMA FONTE DE TENSÃO PARA INJEÇÃO DE

CORRENTE EM MALHA DE TERRA DE SUBESTAÇÃO PARA MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO. Descrição: Atualmente, em subestações, para medição de resistência de aterramento são utilizados geradores convencionais a gasolina ou diesel como ponto de injeção remota de corrente, que correspondem a equipamentos de difícil manuseio pelas dimensões dos mesmos. As medições de tensão e corrente indiretas e sujeitas a oscilações devido à natureza de motores à combustão. Com a fonte requerida será possível injetar corrente controlada em todos os parâmetros quantitativos em malhas de aterramento de subestações, em momentos necessários, o que proporcionará uma medição de tensões geradas nas malhas e nas de medições externas à mesma, de maior confiabilidade. Resultado Esperado: Desenvolvimento de um protótipo de fonte de tensão alternada, senoidal, que registre os momentos que entrou em operação, registrando o número do comando, o valor de tensão, corrente, frequência e o tempo que operou. A faixa de frequência de operação é de 50 até 100 Hz. A fonte de energia poderá ser por baterias e a saída gerada entre 60V até 300V, com corrente máxima de 15A. O comando de entrada e saída de operação deverá ser remoto, de até 4 km. Deverá buscar-se nesse projeto o menor tamanho possível e uma autonomia que permita várias entradas com a fonte sem a necessidade de recarga da(s) bateria(s). b) Com o processo de medições de conexões abordado no item 2.1.2 do artigo, verifica-se a conexão entre os equipamentos, armários e outros na malha, porém a trama da malha poderá ser verificada por medidas amostrais de passo e toque e com técnicas como elementos finitos, por exemplo, poderia se levantar o perfil de potencial e verificar possíveis picos que fornecerão evidências de uma atenção especial, por poderão indicar falhas. c) Ensaio e/ ou metodologias experimentais em altas frequências para ver o comportamento de uma malha de terra de subestações, principalmente sob descargas atmosféricas em linhas próximas às subestações não são efetuadas no comissionamento de uma SE nova e nem preventivamente em existentes. Entendo que é um tema que mereça investir em pesquisa. Sistemas de SPDA são projetados para incidência direta, mas correntes injetadas por descargas atmosféricas incidentes em cabos para raios próximos à SE, escoam na malha devido a baixa resistência da mesma, levantando potenciais e em alguns casos acima de tensões de isolamentos de fontes de alimentações de equipamentos.

C) Descrever com mais detalhes o grau de inovação no desenvolvimento deste projeto, em relação à experiência internacional ou mesmo nacional.

Segue abaixo alguns pontos de inovações identificadas em relação à experiência nacional considerando o descrito no artigo são: - Determinação da curva de potencial com medições diferenciais; - Não necessidade de desligamento de linhas que chegam numa subestação de energia elétrica e pelo aproveitamento do cabo para raio como condutor e uma torre como eletrodo remoto; - Medição seletiva da real corrente injetada na malha, inclusive com verificação de linearidade; - Baixo valor da corrente injetada em relação a métodos tradicionais; - Medidor seletivo e alta sensibilidade desenvolvido na UFF, buscando a portabilidade e independência tecnológica; - Medição muito rápida das conexões de descidas de aterramento numa condição segura e mais próxima da real.

3.30 - INTEGRAÇÃO DE MODELAGEM 3D COM APLICABILIDADE EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

PINTO, L.R.L.(1);MENENDEZ, R.C.(2);PIASERA, F.E.(3);SOUZA, P.D.B.D.(3); - GEO(1);GEO(2);Geogroup(3);

A GEOGROUP / ENGTECNICA ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO afim de mitigar os problemas de gestão, organização, eficiência e qualidade que usualmente ocorriam em seus projetos de subestação de transmissão, remodelou seus conceitos de elaboração de projetos. A solução encontrada pela empresa para mitigar estes problemas foi a substituição do processo tradicional de realização de projetos em 2D para a utilização da metodologia BIM (do inglês Building Information Modeling). Este artigo descreve a implementação dessa metodologia de concepção de projetos, a quebra de paradigmas, os desafios atinentes a implementação e quais as vantagens e desvantagens da utilização da metodologia BIM neste empreendimento.

Perguntas e respostas:

A) O IT apresenta características especiais deste sistema tais como capacidade de gerenciar e armazenar em um banco de dados um modelo de informações que inclua todos os dados de objetos, como sua geometria e seus atributos, bem como seus links e interfaces com os demais objetos. Descrever quais são os planos dos autores em dar continuidade à evolução deste sistema tais como banco de dados dos modelos, biblioteca padrão de objetos inteligentes, interface para troca de dados, ferramenta de cálculo adicionais, etc.

A implantação da metodologia BIM em subestações requer a criação de uma biblioteca detalhada de todos os materiais, equipamentos e estruturas possíveis para construção completa de uma subestação. No nosso caso, o desenvolvimento da biblioteca só ocorreu com os itens de 500 e 138 kV necessários para implantação da Subestações Paranaita 500/138 kV, entretanto, para a utilização maximizada desta metodologia, se faz necessário a criação de todos os materiais, equipamentos e estruturas em todas as tensões, ex: 500, 440, 345, 230, 138 kV. Acreditamos, que a metodologia BIM será gradativamente difundida no setor elétrico, possibilitando dessa maneira o incremento de novas ferramentas para a realização de todos os cálculos e testes necessários em uma subestação.

B) O IT descreve os esforços iniciais para implantação da metodologia BIM, os contratempos e etapas desafiadoras conforme foram descritos, além de custos associados. Será que o setor está maduro o suficiente para migrar da forma atual de trabalhar para esta utilizando a tecnologia BIM? Qual a expectativa dos autores?

A metodologia BIM pode ser vista de duas maneiras, a Individual e a Coletiva. A maneira Individual funciona como uma melhora interna da companhia que o utiliza, no qual obtém após todo o processo de criação de biblioteca, a rapidez, qualidade e facilidade que a metodologia proporciona para todas as áreas (Gestão, Engenharia, Montagem, Orçamento, Diretoria, etc). Já a maneira Coletiva da metodologia BIM funciona através de diferentes companhias que utilizam esta mesma metodologia, havendo a possibilidade de interação através de reuniões técnicas utilizando os modelos BIM, aprovações de projetos através do BIM, projetos As-Built com a metodologia BIM, projetos fornecidos pelo governo para os leilões de transmissão em 3D, etc. A maneira Individual do BIM já pode ser aplicada internamente nas empresas, como é o nosso caso, dependendo exclusivamente dela para obtenção de diversas melhorias em processos e qualidade. Já a maneira Coletiva ainda requer tempo, necessitando de diversas empresas implementarem a metodologia BIM em seus projetos. Acreditamos na discussão entre as empresas do setor, no intuito de acrescentar novos pontos de vistas e utilidades ainda não identificadas ou aprimoradas da metodologia. A nossa expectativa é a de que no curto/médio prazo, as empresas implementem a metodologia BIM internamente, devido aos inúmeros fatores positivos obtidos através de somente uma metodologia. Já para ocorrer a interação da metodologia BIM entre as empresas, acreditamos que é esperado em longo prazo, pois requer alterações de processos e sistemas das companhias, além da necessidade de modificar projetos realizados na metodologia tradicional para a metodologia BIM.

C) A qualidade dos documentos gerados em 2D pelo BIM tem a mesma qualidade daqueles gerados diretamente em 2D pela metodologia tradicional?

A qualidade dos documentos gerados em 2D pelo BIM tem qualidade superior aos gerados diretamente em 2D pela metodologia tradicional, devido à extrema quantidade de detalhes de cada peça (bloco) do projeto, entretanto, devido a este fator, os arquivos em .pdf e .dwg 2D gerados pelo BIM são quase 6 vezes maiores que os arquivos 2D gerados tradicionalmente, ocorrendo demora excessiva para abertura dos arquivos, demandando hardware robusto das máquinas que processam informações gerados pela metodologia BIM.

3.31 - DESAFIOS PARA O SECCIONAMENTO DE BARRAMENTOS 230 KV EM SUBESTAÇÕES ENERGIZADAS: UM ESTUDO DE CASO NAS SUBESTAÇÕES DE RECIFE II, CAMAÇARI II, PAULO AFONSO III E FORTALEZA II DA CHESF

FRAGA, F.N.(1);COSTA, L.R.D.V.J.D.(1);XAVIER, C.S.D.S.(1);MONTENEGRO, S.G.(1);COUTINHO, P.R.L.D.N.(1);FILHO, E.A.D.S.L.(1);TAVARES, K.M.(1);BARROS, J.R.P.D.(2); - CHESF(1);cgc(2);

O presente trabalho apresentará os desafios para a realização de seccionamento de barramentos energizados de 230 kV em subestações existentes do Sistema Interligado Nacional (SIN), bem como apresentará um estudo de caso apresentando a metodologia utilizada para esse processo de upgrading na subestação e as dificuldades encontradas no processo.

Perguntas e respostas:

A) Descrever a etapa atual no desenvolvimento deste projeto e as ações de solução de engenharia e os cuidados para garantir uma implementação bem sucedida.

Os projetos foram licitados separadamente e alguns estão em fase de assinatura do contrato e outros em homologação do processo licitatório. Em relação ao cuidados levantamentos de campo e reuniões entre as áreas de engenharia, manutenção e operação foram realizadas com o objetivo de fazer com que os projetos tenham implantação bem sucedida

B) Os autores apresentaram as dificuldades na realização do empreendimento e o pequeno ganho de confiabilidade alcançado com a modificação do esquema de manobra. Como se deu a avaliação destas propostas de melhorias e quais estudos foram realizados durante esta fase? Os estudos de confiabilidade foram realizados a posteriori?

A Chesf foi demandada pelo relatório do ONS e pela Resolução Autorizativa 6137/2016 da ANEEL. A Chesf não foi consultada em relação aos ganhos e dificuldades dos empreendimentos. Apenas se era ou não possível. Os estudos foram realizados após a demanda.

C) Os autores podem descrever as motivações que levaram a CHESF definir a configuração barra tripla para a subestação 230 kV de Paulo Afonso III e quais as características positivas e negativas desta? Qual a experiência operativa na utilização deste arranjo?

A subestação de Paulo Afonso III tem um arranjo de barramento muito peculiar. São três barras, entretanto cada barra tem apenas uma fase. Ou seja, as fases ficam fisicamente distantes umas das outras. Existem características positivas, uma das mais significativas é que praticamente é impossível o curto-circuito entre fases. A negativa mais significante é a maior dificuldade de visualização do arranjo. Em relação a SE Paulo Afonso III a mesma está em operação a mais de 30 anos e é a única nesta configuração na Chesf.

3.32 - METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE ELETRODOS MARINHOS EM SISTEMAS CCAT

ESMERALDO, P.C.(1); - STATE GRID(1);

O Informe Técnico (IT) apresenta procedimentos e metodologias aplicadas para o dimensionamento de eletrodo de retorno em contato com a água do mar de sistemas CCAT. Existem três tipos de eletrodos em contato com a água do mar: lacustre, marítimo e praiano. O diferencial desses eletrodos em alternativa aos eletrodos terrestres é a alta condutividade da água do mar, resultando em eletrodos com resistência de aterramento mais baixa e instalações com menores áreas de ocupação e interferências em terceiros. Para as correntes de operação específicas para o Bipolo II do sistema de transmissão de Belo Monte, as resistências de aterramento dos eletrodos lacustre, marítimo e praiano estudados são, respectivamente, 0,0537 Ω , 0,0109 Ω e 0,1101 Ω , enquanto que, o edital da ANEEL especifica 0,35 Ω para eletrodo

terrestre. As dimensões dos eletrodos em contato com a água do mar são da ordem de uma centena de metros e do terrestre de 1 a 2 km. O modelo de solo foi obtido com medições magneto telúricas de pontos do litoral das baías de Sepetiba e Mangaratiba, Rio de Janeiro. Um dos grandes desafios para o dimensionamento de eletrodos são as influências e interferências nas pessoas, fauna e flora aquática e em estruturas metálicas, causadas pelos campos elétricos e magnéticos gerados pela circulação de corrente no eletrodo. Em substituição a modelos analíticos simplificados, no IT é utilizada uma ferramenta computacional que emprega a técnica de elementos finitos para obter uma solução numérica mais próxima da realidade.

Perguntas e respostas:

A) O IT citou as três possibilidades de eletrodos em contato com a água do mar: lacustre, marítimo e praiano. Citou também o projeto de P&D ANEEL e a vinculação do mesmo com um caso real de aplicação no Brasil. Qual das três alternativas estudadas se mostrou com maior possibilidade de utilização e por quais as razões?

A vinculação dos estudos com o caso real diz respeito principalmente às capacidades e características descritas nos editais da ANEEL para o eletrodo de retorno de sistemas CCAT e ao fato da estação Conversora Terminal Rio estar localizada próximo do litoral. Do ponto de vista de atendimento aos critérios técnicos e aos limites de interferências no meio ambiente estabelecidos para o projeto, os três tipos de eletrodo são viáveis. Quanto ao custo dos investimentos e facilidades de instalação conclui-se que pela seguinte ordem de atratividade: praiano, lacustre e marítimo. Outras considerações que determinam a escolha do tipo de eletrodo dizem respeito ao uso e ocupação do meio ambiente. Neste aspecto, encontrou-se um local na baía de Sepetiba que tem possibilidades para a instalação de um eletrodo praiano, mas, que exigirá estudos mais detalhados do custo para mitigar as interferências do eletrodo em outras instalações elétricas existentes na região.

B) Comentar sobre os aspectos de manutenção considerando desgastes, produtos da eletrólise, reação de oxidação eletroquímica, eletro-osmose com perda irreversível do eletrodo. Quais as diferenças e recomendações na operação como anodo ou catodo?

Por ser um eletrodo do tipo reversível, os materiais dos elementos ativos dos subeletrodos são definidos para operar tanto como anodo como catodo, sem haver, portanto, recomendação especial quanto ao tipo de operação. Na quantidade de material em cada subeletrodo já está inclusa uma perda por reação eletrolítica definida em função da densidade de corrente. Diferente do eletrodo terrestre, nos eletrodos em contato permanente com a água do mar não é esperado o efeito de eletro-osmose, mas ocorre um outro fenômeno que é a geração de cloro. Por isso, a densidade máxima de corrente nos materiais deve atender os valores que impeçam geração de cloro acima do limite estabelecido e, no projeto estabelecer meios para uma livre circulação da água do mar no entorno dos subeletrodos. O projeto do eletrodo divide os subeletrodos em seções e prevê o seu funcionamento considerando a falta de uma das seções. Quanto à manutenção, o eletrodo lacustre é o que tem mais facilidade para manutenção, pois, em caso de necessidade, o elemento ativo pode ser facilmente substituído, o que não ocorre nos demais tipos de eletrodos, inclusive no terrestre vertical. Nesses casos, a perda de subeletrodo exige a instalação de outro.

C) Comentar sobre os aspectos relacionados à segurança, impacto ambiental, necessidades de isolamento, tanto para seres humanos como animais e peixes.

isolamento, tanto para seres humanos como animais e peixes. Conforme descrito no IT, apesar de não constar em norma a literatura internacional traz valores limites de densidade de corrente e de campo elétrico para as áreas restritas a trabalhadores e para o público em geral. No projeto é verificado se os valores máximos dessas variáveis atendem as restrições aos trabalhadores e, para o público, é feito um mapeamento espacial da densidade de corrente e do campo elétrico para definir onde deve ser feita uma cerca para impedir a presença de seres humanos ou uma barreira para os peixes, se for o caso. No eletrodo marítimo, a solução é obter uma configuração do eletrodo onde essas variáveis são muito inferiores a valores que podem vir causar efeitos na vida marítima.

3.33 - SISTEMAS DE POTÊNCIA PARA ELETRIFICAÇÃO DE PARQUES EÓLICOS - A EXPERIÊNCIA DA ABB

ARCON, A.D.B.(1); MENDES, J.C.(1); - ABB(1);

Mesmo não sendo tão recente o know-how relacionado à geração eólica, no Brasil ela ainda atravessa a fase de consolidação do conhecimento técnico, uma vez que, apesar de a maioria dos conceitos teóricos já serem de amplo domínio, somente a experiência de longo prazo adquirida nas fases de projeto, implementação, operação e manutenção trazem a excelência técnica. O propósito deste trabalho é abordar os principais aspectos que concernem o sistema de potência de um parque eólico, mostrando elementos técnicos e econômicos das possíveis soluções a serem adotadas, com base na experiência adquirida pela ABB ao longo da última década.

Perguntas e respostas:

A) A Figura 1 apresenta as SE Coletoras com 2 transformadores de 100 MVA cada. Quais os critérios recomendados pelos autores relacionados a reserva para os transformadores e atendimento ao critério n-1?

A definição da potência nominal de um transformador para parques eólicos deve se basear em algumas premissas essenciais: 1. Redundância plena ou não (critério N-1); 2. Característica do ciclo de carga da instalação (potência máxima de geração, fator de capacidade); 3. Disponibilidade de novas tecnologias, como líquido isolante tipo Éster Natural ou isolamento sólida tipo Nomex; 4. Taxa de falha dos transformadores. Para o caso em questão, entendemos que a solução recomendada visando o atendimento ao critério N-1 seriam: a) Prover 2 transformadores com potência a ser determinada considerando a composição ótima dos aspectos 2 e 3 acima descritos. Isto resultaria em transformadores com potência superior a 100 MVA, porém inferior à potência máxima dos parques (a geração máxima na SE Coletoras mais carregada do caso exemplificado é da ordem de 175 MVA), de maneira que apenas um transformador fosse capaz de atender a geração máxima e sem redução de sua vida útil (40 anos para sistemas pertencentes à Rede Básica, conforme Procedimentos de Rede do ONS, submódulo 2.3); b) Prover 3 transformadores com potência também a ser determinada considerando a composição ótima dos aspectos 2 e 3 acima descritos. Devido a esta composição, a potência de cada transformador seria inferior a $175/2 = 87,5$ MVA, de maneira que a sobrecarga resultante nas 2 unidades remanescentes também não implicaria redução na vida útil especificada.

B) Na tabela 1 os valores para MTS se apresentam, de forma geral, muito superiores à GIS. Qual a justificativa para isto?

Os valores apresentados na Tabela 1 referem-se aos índices totais de confiabilidade, compostos por uma parcela devido a falhas (eventos estocásticos) e uma parcela devido a manutenções programadas (eventos determinísticos). Embora os índices de confiabilidade das duas tecnologias sejam bastante similares, uma vez que o que diferencia a tecnologia MTS da GIS é via de regra apenas o barramento (que é AIS na MTS), a GIS possui menor frequência de interrupção e indisponibilidade devido a falhas, ao passo que a MTS possui menores índices devido a manutenções programadas, sendo que a soma de ambas parcelas resulta menores valores para a MTS no geral. Isto devido ao fato de que a MTS permite maior flexibilidade na adoção de estratégias de manutenção. No caso sob análise, foi considerada a existência de um módulo MTS reserva na subestação, de maneira que, em caso de major failures, o sistema pode ser reparado em um tempo pré-determinado, o que não ocorre no caso da GIS.

C) O IT apresentou diversos aspectos e cuidados relacionados à implantação de sistemas de potência para eletrificação de parques eólicos. Qual deles os autores julgam como o mais crítico e que exige maior atenção e quais deles apresentam preocupações particulares relacionadas às plantas eólicas, considerando que alguns deles são semelhantes em qualquer sistema elétrico instalado? Ou seja, quais deles apresentam características particulares associadas à geração eólica

Dois aspectos podem ser destacados para sistemas elétricos de potência de usinas eólicas: a) Transformadores elevadores, devido à característica particular de carregamento de um parque eólico, onde se observa uma potência de geração elevada comparada à potência nominal do transformador coletor, com ciclos diários de picos de carga elevada e carga baixa devido a eventual variação típica diária de velocidade de vento, gerando requisitos específicos quanto à sobreexcitação do núcleo magnético; b) Rede de Média Tensão, que podem possuir características diferentes de uma rede de distribuição normal, tais como questões fundiárias e geográficas para implementação. Outro ponto importante é relativo às perdas ôhmicas na RMT, pois é um item crucial para maximizar os ganhos com a geração frente aos custos de investimento inicial.

4.0 TÓPICOS PARA DEBATE

- a) Aplicação de novas tecnologias em equipamentos em subestações;
- b) Mitigação de campos eletromagnéticos em subestações;
- c) Otimização de projeto de instalações;
- d) Desafios de implantação das conversoras CA/CC e CC/CA;
- e) Limitadores de curto-circuito (tecnologias e estudos)
- f) Técnicas de ensaios em campo;