

Grupo de Estudo de Desempenho de Sistemas Elétricos (GDS)

RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

ANGELICA DA COSTA OLIVEIRA ROCHA - ATG ENG
RICARDO PENIDO DUTT ROSS - CEPEL
SANDRO DE CASTRO ASSIS - CEMIG

1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com base nos 32 informes técnicos apresentados no Grupo GDS observa-se que há temas de diversas áreas que estão despertando interesse e discussão no âmbito de desempenho de sistemas elétricos de potência, dentre eles pode-se citar:

- ✓ Modelos, ferramentas e análise do desempenho de sistemas de potência: Dos 32 informe recebidos, 11 abordam este tema, demonstrando o aumento do interesse por parte dos participantes. Vários destes informes abordam modelos dinâmicos e transitórios associados a geração renovável: eólicas e fotos voltaicas. Outros apresentam sistema para análise de perturbações no sistema e para avaliação da qualidade de energia;
- ✓ Qualidade de Energia: Notadamente o tema de qualidade de energia no âmbito da conexão de geração renovável - eólica ou foto voltaica no sistema nacional foi um dos temas que despertou maior interesse, sendo objeto de quase a totalidade dos 9 informes classificados neste grupo;
- ✓ Descargas atmosféricas: dos 6 informes relativo a este tema, destaca-se aqueles enfocando aprimoramento dos métodos e modelagem para avaliação do desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas, a busca por obtenção mais precisa dos parâmetros influentes neste fenômeno e o registro de experiência operativa de linhas de transmissão existentes;
- ✓ Transitórios eletromagnéticos, sobretensões de manobra e coordenação de isolamento: neste tema os 5 informes versaram sobre estudos de transitórios no sistema interligado nacional associados a a inserção de uma linha de 1000 kV, análise de ressonância envolvendo linhas paralelas, coordenação de isolamento em subestação compacta e análise de transitórios de frente muito rápida. Também a modelagem de cabos subterrâneos foi objeto de um informe;
- ✓ Campos Elétrico e Magnético e Compatibilidade Eletromagnética: neste tema foram enquadrados 2 artigos sobre campos elétrico e magnético, sendo um sobre técnicas de blindagem do campo magnético de linhas subterrâneas e outro sobre discussão sobre a regulamentação da ANEEL sobre campos elétrico e magnético.

2.0 CLASSIFICAÇÃO DOS INFORMES TÉCNICOS

Os 32 informes técnicos do Grupo GDS foram classificados em 5 categorias, em função do conteúdo técnico dos mesmos, conforme relacionado a seguir

- ✓ Modelos, ferramentas e análise do desempenho de sistemas de potência: 10 informes;
- ✓ Qualidade de Energia: 9 informes;
- ✓ Descargas Atmosféricas: 6 informes;
- ✓ Transitórios eletromagnéticos, sobretensões de manobra e coordenação de isolamento: 5 informes;
- ✓ Campos Elétrico e Magnético e Compatibilidade Eletromagnética: 2 informes.

2.1 489 - Qualidade da energia elétrica:

- 1272 - Proposição do Método da Superposição com Múltiplas Fontes e Impedâncias para a Atribuição de Responsabilidades sobre as Distorções Harmônicas de Tensão
- 545 - Métodos e Ferramentas para Aumento da Eficiência Computacional, Automatização de Procedimentos e Visualização de Resultados em Estudos de Comportamento Harmônico
- 617 - Validação por Meio de Medições da Metodologia que Utiliza Filtros Ativos e Medidores de Tensão e Corrente para a Determinação das Responsabilidades sobre as Distorções Harmônicas no PAC
- 540 - ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO HARMÔNICA DE TENSÃO EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM A CONEXÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS
- 1194 - Melhorias do Processo de Gerenciamento de Qualidade de Energia do Operador Nacional do Sistema Elétrico face ao aumento das fontes de energias renováveis no Sistema Interligado Nacional
- 859 - Avaliação do impacto de cabos de conexão no desempenho de filtros harmônicos passivos
- 125 - Conversão de Bancos de Capacitores em Filtros de Harmônicas

- 611 - Projeto da Melhoria do Compensador Estático de Fortaleza Necessidade da Troca do BC por um Filtro Amortecido Tipo C
- 983 - Identificação e Análise das Inconsistências e dos Critérios Conservadores da Metodologia de Avaliação do Desempenho Harmônico de Parques Eólicos no Brasil
- 207 - Impacto da modelagem das Linhas de Transmissão na análise harmônica de sistemas com geração eólica.
- 1366 - RESULTADOS DE CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMAS COM COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS - ANÁLISE DO IMPACTO DE OUTROS AGENTES NA AMPLIFICAÇÃO DE HARMÔNICOS EM SISTEMA DE 500 kV

2.2 490 - Modelos e ferramentas para análise de desempenho de sistemas de potência:

- 421 - Análise das solicitações impostas por linhas subterrâneas sobre o sistema interligado
- 470 - Aperfeiçoamento da Modelagem de Parques Eólicos para Estudos Elétricos com Base em Interações com Fabricantes e em Normas Internacionais
- 872 - Minirrede UFPR: Um benchmark para pesquisas em geração distribuída e eficiência energética
- 657 - METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO DE DEFEITOS MONOFÁSICOS COM O ANATEM CONSIDERANDO AS VARIAÇÕES DE TENSÃO NAS TRÊS FASES
- 1038 - Melhorias no desempenho dos Sistemas Elétricos de Potência via pequenas mudanças no fluxo de carga continuado
- 268 - COMPARAÇÃO ENTRE REGISTROS DE ENERGIZAÇÃO REAIS E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS EXISTENTES DE TRANSFORMADORES E AUTOTRANSFORMADORES E PROPOSTA DE NOVO MODELO
- 570 - Utilização de Respostas em Frequência de Impedâncias para Construção de Equivalentes Dinâmicos Multiportas de Redes Elétricas
- 390 - Modelagem de Carga via Algoritmo Genético
- 163 - Estudo dos Níveis de Campos Elétricos no Interior do Corpo Humano Para Atendimento das Restrições Básicas Sugeridas Pela Organização Mundial da Saúde em Subestações de 525 kV
- 186 - Aplicação de Função Base de Ordem Superior para Modelagem de Aterramentos Elétricos Utilizando o Método dos Momentos
- 75 - Modelos de Inteligência Computacional aplicados à previsão de ocorrência de falta
- 1213 - UTILIZAÇÃO DE ANÉIS DE PERDAS EM REATORES PARA FILTRO DE HARMÔNICOS AMORTECIDOS
- 1415 - DESAFIOS NA MODELAGEM NO ATP DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DA LT 230 kV CURITIBA CENTRO - UBERABA, CIRCUITO DUPLO SUBTERRÂNEO

2.3 491 - Descargas atmosféricas, sobretensões transitórias e coordenação de isolamento:

- 917 - Discussão de Técnicas de Melhoria do Desempenho de Linhas de Transmissão Frente às Descargas Atmosféricas
- 1012 - Comportamento de linhas de transmissão parcialmente protegidas por dispositivos para-raios frente a descargas atmosféricas
- 524 - A IMPORTÂNCIA ATUAL DE ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS PARA DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES CONTRA SOBRETENSÕES E AS APLICAÇÕES RECENTES COM A INSTALAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTO
- 780 - Coordenação de isolamento integrada ao dimensionamento mecânico e custo de estruturas de linhas de transmissão
- 860 - Avaliação do efeito da distribuição de incidência de descargas atmosféricas ao longo do vão no desempenho de linhas de transmissão: análise crítica da forma tradicional de cômputo pelo fator 0,6
- 839 - Uma experiência no uso de "underbuilt wires" e aplicação conjugada de dispositivos para-raios e impedâncias limites de pé-de-torre para melhoria de desempenho frente a descarga atmosféricas de linhas de transmissão instaladas em condições inóspitas
- 371 - Avaliação do desempenho frente a descargas atmosféricas de linhas aéreas de 69 e 138 kV construídas em solos de alta resistividade e considerando as tensões induzidas
- 574 - Metodologia simplificada para a caracterização da resposta transitória e de regime permanente de arranjos de aterramento
- 569 - Metodologia para estudo de sobretensões decorrente de manobras de chaves seccionadoras em equipamentos de SEs isoladas a ar e/ou gás
- 30 - NOVA METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

2.4 492 - Compatibilidade eletromagnética:

- 279 - Avaliação da compatibilidade eletromagnética em luminárias públicas de LED

3.0 RELATÓRIO SOBRE OS INFORMES TÉCNICOS

3.1 - Proposição do Método da Superposição com Múltiplas Fontes e Impedâncias para a Atribuição de Responsabilidades sobre as Distorções Harmônicas de Tensão

MIGUEL PIRES DE CARL(1); RICARDO ANTUNES(1); - ESUL(1);

O presente Informe Técnico (IT) propõe uma metodologia para atribuição de responsabilidades sobre as distorções harmônicas medidas em pontos de acoplamento com mais de um empreendimento com fontes não lineares conectadas, a qual foi denominada Método da Superposição com Múltiplas Fontes e Impedâncias. Para isto, o artigo contextualiza o problema, apresenta as principais metodologias existentes e detalha a metodologia proposta, apresentando a sua fundamentação teórica, os dados necessários e o seu processamento. Para isto, o IT apresenta um estudo de caso realizado em um PAC com dois conjuntos de parques eólicos conectados de forma indendente, onde o objetivo é determinar quais as contribuições da rede e de cada um dos parques para a tensões harmônicas em análise. O artigo conclui que a metodologia proposta tem aplicação viável e prática para a atribuição de responsabilidades sobre as distorções harmônicas e deveria ser utilizada de forma complementar aos estudos como forma permitir uma alocação justa de custos relativos a instalação de equipamentos para a redução de distorções harmônicas.

Perguntas e respostas:

A) O circuito elétrico mostrado na figura 3 mostra diversas fontes de distorção harmônica. A análise deve ser feita considerando fontes paralelas vistas do PAC? A fonte Vu-h corresponde a qual fonte harmônica?

Conforme mostrado na Figura 3 do artigo, a metodologia proposta permite que sejam atribuídas parcelas de responsabilidades sobre as distorções harmônicas medidas em um PAC entre todos os agentes que se conectam naquele ponto (fontes paralelas). A fonte Vu-h corresponde a fonte harmônica (ou as fontes) presentes no sistema, as tensões de background.

B) O estudo de caso de SPA2 apresentou contribuições insignificantes dos parques eólicos para as frequências características de 5a e 7a ordens. Porém foram usados valores típicos das impedâncias da rede externa e interna. Os resultados poderiam ser diferentes caso fossem usadas impedâncias atípicas da rede externa conforme preconizam os procedimentos de rede?

Conforme está colocado na seção 4.1 do IT as impedâncias tanto da rede interna como externa dos parques foram obtidas por simulação, seguindo critérios definidos pelo ONS para estudos de desempenho harmônico. Algumas diferenças foram que nos aerogeradores, nas análises mostradas no IT, consideraram também as impedâncias internas dos aerogeradores e no Lugar Geométrico representativo da rede externa foram consideradas somente as impedâncias da ordem harmônica em análise. Portanto, os autores entendem se tratarem de impedâncias suficientemente representativas das condições da rede para esta avaliação, o que está em consonância com o que vem sendo desenvolvido no WG C4.42, que trata do tema, e diz que este tipo de análise deve considerar situações mais prováveis para a rede. O motivo da grande diferença entre as contribuições da rede e dos parques para o 5º harmônico, por exemplo, é a significativa diferença entre as magnitudes das impedâncias das redes interna e externa dos parques, o que faz com que majoritariamente, as distorções naquele ponto sejam geradas quase que em sua totalidade pela rede. Vale destacar que este resultado está de acordo com análises realizadas com técnica da Brochura Técnica 468 do Cigré e a experiência operativa que mostra que as distorções de 5º ordem praticamente não se alteram momentos antes e após o desligamento/desconexão dos parques. De qualquer forma, quando não se considera as impedância internas dos aerogeradores nas análises, o que equivaleria a momentos em que os parques não estão gerando por falta de vento, as contribuições dos parques para a 5º ordem seriam na maior parte do tempo da ordem de 0,10 %, ou seja, bastante inferior à contribuição da rede - mas vale lembrar que a condição sem geração ou sem vento não é predominante.

C) Ainda no estudo de caso de SPA2 foi concluído que a contribuição harmônica oriunda do sistema ("background") é bem mais expressiva Caso este valor de distorção harmônica viole os limites permitidos qual seria a solução proposta para se aproveitar a energia de novos parques eólicos e minimizar os problemas de distorção harmônica?

A sugestão dos autores do IT para casos em que as distorções de qualquer barra do sistema, seja um ponto de acoplamento com geração eólica ou uma barra qualquer do sistema, é que seja cumprido estritamente pelo ONS o que está definido no item 13.2 do submódulo 2.8 dos procedimentos de rede, mais especificamente nos itens 13.2.3.1 a 13.2.3.4. Para isto, seria fundamental implementar um sistema de monitoramento, análise e gestão para os indicadores de distorção de tensão, o qual monitoraria as distorções em barras de geração e carga de forma contínua e de acordo com métricas predefinidas poderia indicar e sinalizar barras que merecessem atenção ou necessidade de mitigação. Além disso, um sistema contínuo de monitoramento de longo prazo ajuda a identificar tendências de crescimento ou redução ou mesmo correlacionar as variações com eventos como a entrada em operação de novos agentes. Além de permitir uma comparação com dados de estudos. Por fim, identificada alguma necessidade de mitigação e a responsabilidade, mesmo que compartilhada, filtros deveriam ser instalados como medida de redução das distorções, inclusive realizando-se uma avaliação de eventuais elevações das distorções que a inclusão deste filtro poderia ter em barras remotas. Outra sugestão seria que quando um banco de capacitores fosse definido para determinada barra do sistema, esta barra deveria ser objeto de análise de suas distorções e em caso de violações dos limites, um filtro com mesma potência do banco de capacitores poderia ser instalado.

3.2 - Métodos e Ferramentas para Aumento da Eficiência Computacional, Automação de Procedimentos e Visualização de Resultados em Estudos de Comportamento Harmônico

CRISTIANO DE OLIVEIRA COSTA(1); SERGIO LUIS VARRICCHIO(1); FRANKLIN CLEMENT VÉLIZ(1); - CEPEL(1);

O número de casos processados em estudos de comportamento harmônico como, por exemplo, os necessários para conexão de novos parques eólicos ao Sistema Interligado Nacional (SIN), é muito elevado. Devem ser avaliados diversos cenários considerando vários anos futuros, diversos níveis de carregamento, além da necessidade de consideração de muitas contingências (retirada de linhas de transmissão, transformadores, etc.) para a consideração da rede no seu estado degradado. Este grande número de casos gera uma enorme quantidade de resultados que devem ser processados e apresentados na forma de gráficos e tabelas para que possam ser analisados e, por fim, submetidos ao Operador Nacional do Sistema (ONS) para que o empreendimento possa entrar em operação. Mesmo possuindo interfaces gráficas de traçados de Lugares Geométricos (LGs) bastante amigáveis e simples de se utilizar, a geração dos resultados pelo programa HarmZs do CEPEL requer que o usuário interaja com a base de dados elétricos para a seleção das diversas contingências que devem ser consideradas. De acordo com os Procedimentos de Redes (PR) devem-se contingenciar todos os componentes de rede do SIN que se encontram até a terceira vizinhança elétrica do PAC, o que, na maioria das vezes, resulta em um número muito grande de contingências. Portanto, a seleção dessas contingências e a inclusão das mesmas no arquivo "batch", que simula a interação do usuário com as interfaces gráficas do programa HarmZs, é uma tarefa manual bastante trabalhosa. Além disso, não se tem a garantia de que todas as contingências foram devidamente consideradas. De forma a contornar estas dificuldades, foi implementado um método que identifica automaticamente todos componentes dentro de uma determinada vizinhança elétrica de uma barra do sistema. Julga-se que com esse novo desenvolvimento, os estudos de comportamento harmônico utilizando o programa HarmZs tornem-se completamente automatizados, desde a seleção das contingências até o cálculo final das distorções harmônicas de tensão. Portanto, o objetivo desse informe técnico (IT) é apresentar um mini tutorial da utilização das funcionalidades que permitem a automatização total e eficiente dos estudos de comportamento harmônico, com ênfase na aplicação do método que seleciona automaticamente as contingências no SIN.

Perguntas e respostas:

A) A ferramenta desenvolvida gera os resultados de um caso base e todas as suas contingências de uma vez? Os autores poderiam estimar o ganho aproximado em tempo (montagem, processamento e análise) fazendo-se uso desta ferramenta?

Sim, o conjunto de ferramentas desenvolvido permite a geração de todos os resultados, não só de um caso base e de todas suas contingências de uma só vez, mas de todos os casos base e de suas respectivas contingências. O informe técnico apresenta uma série de ferramentas que são utilizadas conjuntamente para automatização total dos estudos de comportamento harmônico. Em todas elas os ganhos são evidentes. Com a ferramenta que faz seleção automática das contingências, a partir do critério de vizinhanças elétricas, o ganho na montagem do arquivo batch pode chegar a semanas de trabalho. Com a ferramenta batch, que é utilizada para manipular os dados de entrada e realizar o cálculo de todos os pontos de impedâncias harmônicas, os ganhos em processamento, utilizando o modo TURBO, podem chegar a 40 vezes se comparados com o processamento no modo tradicional. Deve-se observar que os ganhos de tempo com esta ferramenta não se restringem aos de processamento, mas também aos relacionados a manipulação direta dos dados de entrada e comandos de execução, sem a necessidade de utilização de interfaces gráficas. Finalmente, com a ferramenta que faz automaticamente o traçado dos lugares geométricos (LGs) e cálculo das distorções harmônicas individuais e total, há ganhos muito significativos, pois o tratamento manual deste traçado e cálculos demandaria muito tempo do analista.

B) Os autores conhecem o número aproximado de casos base que um estudo previsto nos Procedimentos de Rede deve conter? Considerando também as contingências qual seria um típico número de processamentos usando a ferramenta convencional?

Atualmente o ONS fornece 33 casos base de fluxo de potência (que podem ser carregados no programa HarmZs para montar a base de dados de estudos de comportamento harmônico), com dados que vão do ano de 2019 ao ano de 2025 (níveis de carga leve, média e pesada, além de condições de inverno e verão). O número de casos base utilizado em cada estudo vai depender do ano em que a instalação entrará em operação. Considerando os 33 casos base e que o ONS estabelece que se degrade a rede até sua terceira vizinhança, tendo cada caso base, em média, 100 contingências, o total de contingências para estes 33 casos base fica em torno de 3300 contingências. Cabe observar que esse número de contingências, por caso base, depende da topologia da rede nas vizinhanças do ponto de acoplamento comum.

C) Os autores tem conhecimento se em algum outro Procedimento de Rede de outro país / Operador são feitos tanto processamentos de impedância harmônica para decidir sobre a conexão de novos parques eólicos?

Desconhecemos.

3.3 - Validação por Meio de Medições da Metodologia que Utiliza Filtros Ativos e Medidores de Tensão e Corrente para a Determinação das Responsabilidades sobre as Distorções Harmônicas no PAC

FRANKLIN CLEMENT VÉLIZ(1); SERGIO LUIS VARRICCHIO(2); CRISTIANO DE OLIVEIRA COSTA(3); ITALO FORADINI DA NOVA(4); LUIZ EDUARDO DIAS SANTOS(5); - CEPEL(1);CEPEL(2);CEPEL(3);CEPEL(4);CEPEL(5);

As metodologias utilizadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) para a determinação das responsabilidades sobre as distorções harmônicas relativas à conexão de novas instalações ao Sistema Interligado Nacional (SIN), não consideram o isolamento destes sistemas para os harmônicos de interesse devido a sérias dificuldades práticas. Note que este isolamento é de vital importância para a obtenção correta das responsabilidades. Então, as metodologias utilizadas atualmente podem gerar erros expressivos na identificação das mesmas, que na prática são atribuídas às novas instalações, demandando custosas medidas de mitigação. Portanto, é imprescindível validar experimentalmente a metodologia desenvolvida pelo CEPEL que determina a verdadeira contribuição das novas instalações sobre estas distorções, viabilizando, assim, medidas de mitigação de harmônicos mais justas. Desta maneira, este trabalho mostra o teste realizado com sucesso em laboratório, onde se verificou que as condições necessárias para a correta aplicação da metodologia proposta (entre elas o isolamento dos sistemas envolvidos) são suficientes para determinar as responsabilidades (de tensão e corrente harmônicas) com elevada precisão, tornando-a potencialmente apta para sua aplicação em sistemas reais.

Perguntas e respostas:

A) As equações (1) a (7) se referem ao circuito com a presença do filtro ativo que isola os dois sistemas (1 e 2). As equações (8) a (15) se referem ao circuito original sem a presença do filtro ativo usando superposição. Porém, as equações (16) a (32) consideram os dois conjuntos de equações simultaneamente. Qual a justificativa para seu uso conjunto uma vez que são provenientes de circuitos distintos? Estão considerando que VTH2 (tensão de "background" do sistema) não se altera ao se conectar o filtro ativo? Que outras considerações simplificadoras foram feitas?

A justificativa é baseada na hipótese de invariabilidade do ponto de operação harmônico (POH) nos instantes imediatamente antes e imediatamente depois da remoção do filtro (IPAC e IPAC não se modifica). Consequentemente, os respectivos equivalentes de Thévenin (ou Norton) dos Sistemas 1 e 2 devem ser os mesmos nestes instantes avaliados. Note que apesar dos sistemas, representados por seus equivalentes, estarem isolados eletricamente quando o filtro ativo atua - FILTRO ON, em teoria estes equivalentes podem ser acoplados, possibilitando, assim, a obtenção dos valores de VPAC e IPAC para esta situação. Portanto, estes valores de VPAC e IPAC deverão ser iguais aos produzidos pelos sistemas (equivalentes) quando estão acoplados naturalmente (devido à remoção do filtro ativo ? FILTRO OFF). Conforme citado, VPAC e IPAC não se alteram devido à atuação do filtro. Consequentemente, tanto VTH2 quanto os outros três componentes dos equivalentes de Thévenin (VTH1, ZTH1 e ZTH2) dos Sistemas 1 e 2, não se alteram nos instantes imediatamente antes e imediatamente depois da remoção do filtro. Portanto, os componentes dos equivalentes de Norton tampouco se alteram. Outra consideração de relevância da metodologia proposta é a invariabilidade do POH nos casos onde existe interação harmônica. Ou seja, quando as impedâncias das fontes harmônicas (impedâncias ativas das cargas com comportamento não linear) influenciam na determinação das impedâncias dos sistemas envolvidos. Note que os índices propostos para a validação da metodologia (Equações (29) e (31)) consideram apenas impedâncias passivas (Equações (28) e (30)). Portanto, não podem ser utilizados quando existe interação, onde é inviável, na prática, calcular as impedâncias. Desta forma, para estes casos, outras formas de validação da metodologia deverão ser desenvolvidas. Observa-se que a validade da metodologia proposta nos casos de interação harmônica, foi verificada, através de simulações (única forma conhecida até o momento), pela comparação de seus resultados com os da metodologia consagrada na literatura descrita em [4], para dezenas de casos, onde na maioria deles os erros foram muito baixos. Já para os poucos casos em que os erros foram mais significativos (entre 3% e 20% para situações dificilmente reproduzíveis na prática), se verificou que houve uma pequena variação do POH. Deve-se observar, que a metodologia descrita em [4] possui sérias dificuldades de aplicação em sistemas reais, o que não ocorre com a metodologia proposta.

B) A avaliação experimental realizada resultou em correntes harmônicas IPAC1 e IPAC2 (5h) de magnitudes próximas e defasamento próximo a 120 graus. VPAC2 apresentou magnitude bem superior que VPAC1. Por favor comente sobre este resultado indicando o que se pode concluir sobre a responsabilidade de injeção harmônica. A tabela 4 apresentou os resultados de Inorton com e sem o filtro ativo em operação. Comente sobre a aplicação deste resultado para estudos futuros envolvendo emissão harmônica de novo acessante

A metodologia, no ensaio experimental, determinou as responsabilidades de tensão e corrente em função dos parâmetros dos componentes dos sistemas envolvidos, onde todos, exceto a impedância e corrente de Norton da Rede do CEPEL, eram conhecidos, pois foram projetados com o propósito de dimensionar aproximadamente as grandezas de tensão e corrente resultantes (VPAC5h e IPAC5h). No Brasil, o ONS lida apenas com tensões harmônicas. Portanto, a partir dos resultados do ensaio, se verificou que a responsabilidade sobre a distorção de tensão no PAC, causada pelo Sistema 2 (composto pela rede do CEPEL e pela fonte de harmônicos), foi expressivamente maior que a produzida pelo Sistema 1. Em relação, às correntes, não consideradas relevantes no Brasil, a responsabilidade do Sistema 1 foi um pouco maior do que a responsabilidade do Sistema 2. Note que este ensaio é um caso particular planejado. Portanto, a aplicação da metodologia em outro PAC poderá fornecer resultados diferentes, uma vez que os componentes dos sistemas envolvidos também serão diferentes. Em relação à corrente de Norton do Sistema 1, se a impedância deste sistema é conhecida (Equação (5) ou (33)), a determinação desta corrente poderá ser bastante precisa e consequentemente os resultados dos estudos serão mais realistas. No entanto, uma vez que na prática, a obtenção desta impedância pode ser difícil (Ex. nos casos de interação harmônica), se deve utilizar a metodologia proposta para sua determinação (Equação (32)). Portanto, poderá haver perda de precisão no cálculo de ZTH1, e consequentemente na corrente de Norton do Sistema 1, nos casos em que os fatores de tensão (VTH2 e VPAC) e/ou de corrente (IPAC e ?IF) sejam muito próximos, pois conforme a Equação (32), os erros nestes fatores podem ser amplificados na composição dos diminutos fatores resultantes (VTH2 - VPAC) e (IPAC - ?IF). Assim, os erros podem ser amplificados nos casos em que exista a subtração de fatores próximos. Note que esta amplificação do erro pode estar presente em todas as equações propostas pela metodologia, exceto nas equações da tensão VPAC2 e da corrente IPAC2, pois possuem um único fator componente. Como exemplo, houve a perda de precisão de 8.48% na determinação de ZTH1 - Equação (32), onde as subtrações dos respectivos fatores componentes (bem próximos - Tabela 2), resultou em valores pequenos. Observa-se que, como a responsabilidade da tensão do Sistema 2 (VPAC2) não sofre este tipo de ampliação de erro e não depende das impedâncias dos sistemas, conforme mostrado na Equação (18), sua determinação é bastante precisa.

C) Há quem afirme que o resultado das correntes harmônicas características (I_{pac5} e I_{pac7}) envolvendo uma usina eólica e o sistema elétrico a contribuição da eólica terá magnitude de correntes muito inferiores que as do sistema. Já foi feita alguma análise que confirme ou que desminta esta afirmação?

Já foi feita esta análise nos terminais de dois aerogeradores (baixa tensão) de um complexo eólico (CE) real (mais de 100MW), desmentindo esta afirmação nestes terminais (PACs), onde as magnitudes das correntes para ambos os harmônicos foram próximas (I_{pac1_5h} próxima de I_{pac2_5h} e I_{pac1_7h} próxima de I_{pac2_7h}). Em relação às tensões, para ambos os harmônicos, se verificou que a contribuição dos aerogeradores foi significativamente menor que a do sistema (o resto da rede do CE e o SIN). Isto é, V_{pac1_5h} e V_{pac1_7h} foram menores que 5% de V_{pac_5h} e V_{pac_7h}, respectivamente. Para cada aerogerador, as análises foram feitas com um filtro ativo (com controle PWM) instalado no terminal de baixa tensão (400V) do respectivo transformador (34.5kV/400V) coletor. Cada aerogerador (2MW), considerado como o Sistema 1, é do tipo Full Converter e sua impedância harmônica passiva (reator e filtro) foi fornecida pelo fabricante. Portanto, foi possível utilizar os índices (ou erros) de validação da metodologia proposta (Equação (29) e Equação (31)), cujos resultados foram excelentes para o 5º harmônico (no melhor caso os erros foram menores que 0.1%). Estes baixíssimos erros, além de confirmar o atendimento das três condições necessárias para a correta aplicação da metodologia (comportamento não invasivo do filtro ativo, isolamento dos sistemas envolvidos e manutenção do POH), indicam que a impedância do Sistema 1 é predominantemente passiva, ou seja, a impedância ativa dos inversores de cada aerogerador pode ser considerada infinita. Esta impedância passiva também foi utilizada para determinar as correntes de Norton do Sistema 1 nos instantes em que os sistemas estavam isolados (FILTRO ON - Equação (5) ou (33)) e acoplados (FILTRO OFF - Equação (34)) ? IEEE ? Wilsun Xu), onde para o 5º harmônico se verificou um erro de 0.2% entre os valores de correntes fornecidos pelas equações (5) e (34) (para o mesmo caso em que os índices de validação da metodologia propostos foram menores que 0.1%), reforçando assim, a comprovação da eficácia da metodologia proposta em campo. Para o 7º harmônico, no melhor caso de aplicação da metodologia proposta, os índices de validação foram próximos de 2% e o erro entre as correntes de Norton foi de 2.9%. Estes maiores erros eram esperados, pois as tensões e correntes medidas (em média) para este harmônico (V_{pac_7h}=0.75V e I_{pac_7h}=4A) foram muito pequenas (muito menores que as do 5º harmônico: V_{pac_5h}=4.5V e I_{pac_5h}=18A). Note que o isolamento propiciado pelo filtro ativo não é tão eficiente frente a baixos valores de correntes. Isto é, quando o filtro ativo atuou (FILTRO ON), para o 7º harmônico, houve uma relação próxima de 6 vezes entre IF e IPAC, enquanto que para o 5º harmônico foi próxima de 24 vezes. Portanto, a perda da eficiência do filtro ativo na tentativa de isolar os sistemas (para o 7º harmônico), assim como a maior influência dos erros inerentes dos controles dos inversores presentes (mais significativos em baixas correntes e tensões), produziram erros um pouco maiores do que os do 5º harmônico, mais, ainda assim, muito pequenos. Observa-se que o êxito da aplicação da metodologia em campo foi devido ao comportamento dos inversores de cada aerogerador como uma fonte de corrente ideal (impedância infinita), pois permitiu utilizar as impedâncias fornecidas pelo fabricante na validação da metodologia empregando os índices propostos (Equação (29) e Equação (31)). Porém, estes índices serão inúteis (erros elevados) nos casos em que as impedâncias passivas sejam determinadas erradamente, nos casos de interação harmônica, nos casos extremos quando o POH sofre uma variação e nos casos em que ocorra a amplificação dos erros característicos da metodologia (subtração de fasores próximos). Portanto, é imprescindível novos índices ou formas de validação que independam do conhecimento, a priori, das impedâncias e que indiquem se houve variação do POH (verificada em casos difíceis de acontecer na prática). Para este propósito, na atualidade, novos índices de validação da metodologia estão sendo avaliados e serão objeto de um novo informe técnico.

3.4 - ANÁLISE DA DISTRORÇÃO HARMÔNICA DE TENSÃO EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM A CONEXÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

ALAN VIEIRA DA SILVA(1); ANDRÉ BERNARDES MICHEL(2); ANDRÉA CANTARELLI MORALES(3); GUILHERME HOMRICH(4); - UCS(1);UCS(2);UCS(3);UCS(4);

Este trabalho tem como objetivo a análise do impacto da distorção harmônica de tensão devido a inserção de veículos elétricos em uma rede de distribuição de energia real. Nesta proposição, o sistema e todos os seus elementos foram modelados via software OpenDSS. A avaliação dos indicadores de distorção seguiu a normativa do PRODIST, Módulo 8. O estudo foi realizado com base em diferentes condições, contemplando seis cenários. Nos três primeiros a conexão dos veículos foi realizada em um sistema já contendo distorção harmônica de tensão, com diferentes níveis de penetração dos veículos, e nos últimos três cenários, conecta-se os carros elétricos no sistema sem distorção harmônica de tensão. Por fim, foi calculado o número máximo de veículos a serem conectados simultaneamente em dois dos cenários anteriores.

Perguntas e respostas:

A) A figura 2 mostra um espectro de correntes harmônicas durante o carregamento do veículo elétrico. Os autores estão certos que este espectro harmônico se mantém inalterado durante todo o processo de carga da bateria? Ele se aplica tanto a um carregador usado em residências como no eletroposto onde há a possibilidade da carga rápida?

B) O segundo parágrafo da conclusão traz um novo elemento conhecido na literatura sobre o tema que há uma diversidade de ângulos que faz com que haja anulação de algumas correntes harmônicas na rede. Porque os autores não consideraram esta situação ao longo do desenvolvimento do artigo?

C) Porque o fator diversidade no carregamento dos VEPs também não foi considerado? Aparentemente estão considerando que um número elevado de veículos carregam suas baterias num mesmo período de tempo (períodos 1 a 4 - destacados no item 2.3)? Alguma razão para este comportamento do usuário?

3.5 - Melhorias do Processo de Gerenciamento de Qualidade de Energia do Operador Nacional do Sistema Elétrico face ao aumento das fontes de energias renováveis no Sistema Interligado Nacional

FABIANO ANDRADE DE OLIVEIRA(1); JAQUELINE GOMES PEREIRA(1); - ONS(1);

O presente artigo apresenta algumas melhorias no processo de gerenciamento de Qualidade de Energia do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e uma avaliação decorrente das suas implementações sob os aspectos de Estudos e também das Campanhas de Medição devido à operação das fontes de energias renováveis no Sistema Interligado Nacional (SIN) envolvendo equipamentos de compensação reativa: bancos de capacitores e filtros de correntes harmônicas. Essas melhorias se fazem necessárias para que o ONS possa aprimorar os requisitos de qualidade de energia e, portanto, gerenciar esses indicadores, de forma que mais acessantes possam se conectar à Rede Básica garantindo a aplicação de soluções mitigadoras para reduzir a propagação de uma tensão com conteúdo harmônico acima dos limites aceitáveis pelos Procedimentos de Rede.

Perguntas e respostas:

A) Por favor caracterizem melhor os gráficos mostrados nas figuras 2 a 6. Nas figuras do lado esquerdo a curva azul é relativa a todo complexo eólico visto do PAC da Coletora? Os gráficos mostram a impedância interna? externa? ou combinação das duas vista da barra da coletora? E para as curvas vermelha e verde a outra subcoletora foi representada como impedância externa? O procedimento de análise da distorção harmônica para fins de aceitação pelo ONS é apresentada na parte direita da figura (por exemplo na figura 3)? Qual a correlação que os autores querem mostrar entre o lado esquerdo da figura apresentando a ressonância com o lado direito apresentando a distorção calculada?

Os gráficos das Figuras de 02 a 06 são caracterizados, de forma que, o primeiro gráfico mostra uma análise de sensibilidade dos pontos de ressonância para as barras (coletora A ? verde, coletora B ? vermelha e o PAC ? azul). A curva que, certamente não foi identificada para essa categoria de gráfico, é porque coincidentemente ficou superposta a uma outra de mesma magnitude. Esses gráficos dizem respeito às impedâncias equivalentes vistas de cada barra, ou seja, a impedância calculada até à barra de interesse. Sim, a parte direita da Figura 03, por exemplo, são mostrados os valores obtidos de distorção de tensão para cada caso que foi analisado no artigo e que são comparados aos limites de distorção de tensão harmônica individual e total estabelecidos pelos Procedimentos de Rede para uma análise de desempenho harmônico. Com respeito ao questionamento da correlação entre as Figuras do lado esquerdo (pontos de ressonância) com as do lado direito (distorção harmônica de tensão), o intuito foi avaliar a influência e a importância de se representar os bancos de capacitores e suas interações com a representação completa (incluindo todos os parâmetros) dos filtros de correntes harmônicas propostos para o empreendimento em análise focando as consequências do deslocamento dos pontos de ressonância (pontos de alta impedância) devido à operação e/ou manobra desses bancos de capacitores. Dentre as diversas perturbações causadas ao sistema elétrico, uma delas é refletida diretamente no dimensionamento do(s) filtro(s) do empreendimento, ou seja, na definição da sua potência reativa final e dos seus componentes, principalmente pelos deslocamentos dos pontos de ressonância (pontos de alta impedância) resultando em sobretensões prejudiciais para os seus componentes, como também para seus equipamentos de manobra (disjuntores). Por conseguinte, os bancos de capacitores por todos os efeitos inerentes da sua operação, como mencionado anteriormente, são muitas vezes os responsáveis pelas violações dos níveis de distorção harmônica de tensão e que afetam, inclusive, a solução final de filtragem de um determinado empreendimento.

B) O fato da impedância harmônica diminuir sua frequência de ressonância ao se conectarem mais capacitores no sistema é uma situação conhecida por quem trabalha com simulação. Pergunta-se se foram comprovados estes altos valores de ressonância através de medições? Estas frequências de ressonância na faixa entre o 25º e o 33º harmônicos de acordo com a experiência dos autores de fato causam preocupação às redes elétricas? Há no SIN valores de distorção elevados nestas faixas de frequência?

A situação, embora possa ser conhecida, era muitas vezes ignorada durante as simulações ou até mesmo não dada a importância da presença e da consequência desses equipamentos de compensação reativa nos estudos de desempenho harmônico. Atualmente, é obrigatório a consideração dos bancos de capacitores do empreendimento em análise e daqueles presentes até a 3ª vizinhança para a avaliação do impacto desses equipamentos no tocante à distorção harmônica de tensão. Tal consideração não era considerada nas análises de estudos de desempenho harmônico até pouco tempo atrás, quando era solicitado um Parecer de Acesso de um novo empreendimento para conexão ao SIN. As medições de qualidade de energia e que fazem parte do processo de integração de um empreendimento não foram propostas para detectar esses altos valores de ressonâncias, pois tais valores aparecem somente para as condições de contingências N-1 determinadas pela metodologia de aplicação de sistemas não lineares pelo ONS. As medições de qualidade de energia, principalmente aquelas referentes à tensão (campanhas pré, de monitoramento e de pós-tensão) são caracterizadas por um período fixo de 07 dias, cujo objetivo durante esse tempo é informar ao ONS como está o ponto de referência (PAC ? Ponto de Acoplamento Comum) antes, durante e após a conexão do empreendimento, sem realizar as N contingências que a Rede Básica pode estar submetida para os diversos anos de análises avaliados pelos estudos e que são baseados no PAR (Plano de Ampliações e Reforços). Esses pontos possíveis de ressonância, ou mesmo altos valores de ressonâncias podem ser detectados ocasionalmente durante a realização dessas medições, caso uma contingência dessa natureza venha ocorrer na realização das campanhas de medição. A preocupação quanto às frequências de ressonância existe, independentemente das faixas de harmônicos serem altas ou baixas, principalmente quando o assunto envolve parques eólicos/fotovoltaicos. Os estudos de simulação mostram que, muito embora as probabilidades são, em sua grande maioria, mais voltadas para as baixas ordens harmônicas, devido ao sistema brasileiro apresentar baixos níveis de curto circuito, por outro lado, existem casos de geração harmônica de parques eólicos com níveis de correntes harmônicas de ordens elevadas que propiciam altas impedâncias e, por sua vez, elevadas ressonâncias no sistema elétrico. Esse fato implica que sejam tomadas as devidas ações preventivas, corretivas com certa antecedência e/ou até mesmo mitigadoras para se evitar prejuízos (queima, aquecimento, saída indevida de equipamentos, componentes) para o sistema elétrico. No SIN, todavia, não há valores elevados de distorção de tensão que foram efetivamente medidos para as faixas de frequências questionadas (entre as ordens harmônicas de 25ª e 33ª), uma vez que, tais valores são previamente determinados nos estudos de desempenho harmônico e comparados com os seus limites individuais de tensão estabelecidos pelos Procedimentos de Rede.

C) Como são obtidas as curvas de resposta em frequência de TPIs e TPCs mostrados na figura 11? Já foram comparados os resultados obtido através da correção destas curvas com os resultado obtidos através de divisores capacitivos ou tap da bucha capacitiva?

As Curvas de Resposta em Frequência são obtidas, na sua maioria, em campo e com base no documento ?Re. ONS - 2.1-028/2005 - Definição das metodologias e procedimentos necessários às campanhas de medição dos indicadores de desempenho, Rio de Janeiro, 2007, realizado entre o Operador e o CEPEL. Dessa forma, a Figura 11, é o resultado do teste realizado, conforme o documento mencionado anteriormente. É importante salientar que, resultados da Curva de Resposta em Frequência já foram fornecidos ao ONS, por exemplo, através de outros métodos alternativos como o do Tap da Bucha Capacitiva, mas cada método tem a sua aplicação e que depende do tipo de transdutor de tensão utilizado para as medições de qualidade de energia. Quanto ao DPC (Divisores de Potencial Capacitivo) ainda não foi obtida nenhum resultado quanto à Curva de Resposta em Frequência aplicando esse método, mas tal fato é perfeitamente compreensível devido à raridade desses tipos de equipamentos em subestação de

transmissão. Adicionalmente, sua aplicação está condicionada ao arranjo específico de unidades capacitivas, primário e secundário, para a obtenção do sinal adequado de tensão do lado secundário, além dos cuidados e precauções para sua conexão e utilização nas subestações durante a realização das campanhas de qualidade de energia.

3.6 - Avaliação do impacto de cabos de conexão no desempenho de filtros harmônicos passivos

GIORDANNI DA SILVA TRONCHA(1); IVAN NUNES SANTOS(1); CELSO ROSA DE AZEVEDO JUNIOR(1); HÉLDER DE PAULA(1); MARCO LEANDRO BONELLI(2); EVANDRO MARCOS VACILOTO(2); - UFU(1);GE Grid(2);

Percebe-se, na atualidade, um grande aumento de cargas de natureza não linear em todo o sistema elétrico, seja em baixa, média ou alta tensão. Somado a isto, verifica-se um expressivo crescimento no número de plantas de geração de energia conectadas ao SIN (Sistema Interligado Nacional) via conversores eletrônicos de potência, provenientes, principalmente, da crescente inserção de parques eólicos, fazendas solares e geração distribuída fotovoltaica no sistema elétrico brasileiro. Neste cenário, torna-se imperativa a aplicação de medidas mitigatórias, haja vista que, conforme já constatado pelo ONS, muitos barramentos do sistema elétrico brasileiro encontram-se com medições dos níveis de distorções harmônicas próximas (ou acima) dos limites estabelecidos pelas normas nacionais. Como se sabe, a principal forma de mitigação das distorções harmônicas presentes num sistema elétrico ainda é, na atualidade, a instalação de filtros harmônicos passivos sintonizados em uma frequência. Tal escolha ocorre devido à simplicidade da solução, à sua robustez, e, principalmente, por conta de seu baixo custo quando comparada a outras tecnologias. Todavia, muito embora o fato de que a conexão destes filtros ocorra, via de regra, por meio de ligação direta no barramento de média ou baixa tensão, tem-se notado que, em algumas situações, mostra-se necessária a inserção de cabos entre o barramento e o arranjo de filtragem para a efetivação das mesmas, o qual, por vezes, pode apresentar extensões consideráveis. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar o impacto do cabo de conexão no desempenho de filtros passivos. Para tanto, foram realizados ensaios em campo, utilizando-se seis vias de cabos isolados (cabos blindados de 240,00 mm² / 1kV) de aproximadamente 130 metros cada uma, dispostas em diferentes configurações geométricas. Em cada um dos arranjos analisados, a impedância do cabo foi medida em diferentes frequências (60, 120, 180, 300, 420, 660, 780, 900 e 1020 Hz), de forma a caracterizar a resistência e a indutância inseridas em série com a do filtro e a sua influência na dissintonia do filtro e fator de qualidade, dentre outros aspectos. Além disso, esse informe técnico apresenta uma revisão dos aspectos teóricos sobre a formulação da matriz de impedância de um cabo isolado, incluindo os efeitos pelicular e proximidade, explanando também a influência do acoplamento magnético mútuo entre cabos de um mesmo arranjo na estimativa da impedância harmônica dos condutores, além do seu impacto no desempenho dos filtros passivos. Dessa forma, por meio desta proposta, pretende-se acrescer à literatura já existente certas peculiaridades que afetam o dimensionamento prático de filtros harmônicos passivos, seja em baixa, média ou alta tensão. Vale ressaltar que problemas de dimensionamento desses equipamentos são vivenciados diariamente por profissionais do meio, tais como queimas imprevistas e desempenho aquém do esperado.

Perguntas e respostas:

A) Os resultados dos ensaios mostrados na Tabela 1 permitem alguma conclusão sobre impedâncias de sequência positiva, negativa e zero? Qual? Poderiam caracterizar melhor através de desenhos?

B) Poderiam os autores caracterizar melhor usando figuras / desenhos o caso 3 (cabo singelo). Não ficou claro qual a tensão aplicada sobre o mesmo. Porque houve redução de indutância tão expressiva?

C) Na conclusão é ressaltado que ficou evidente a influência dos cabos isolados no projeto de filtros de sintonia passivos. Não foi assimilada esta evidência poderiam os autores exemplificar?

3.7 - Conversão de Bancos de Capacitores em Filtros de Harmônicas

MARCELO DE ALMEIDA BARBOSA(1); - B&A(1);

As plantas industriais e, mais recentemente, as plantas eólicas, possuem bancos de capacitores para correção do fator de potência. Com o passar do tempo e o crescimento de cargas não lineares nesses sistemas começaram a surgir problemas devido às harmônicas, verificando-se a necessidade da instalação de filtros. Este trabalho tem por objetivo apresentar, através de dois estudos de casos, uma solução alternativa e muito interessante do ponto de vista técnico-econômico, na transformação dos bancos de capacitores existentes em filtros de harmônicas utilizando-se de engenharia reversa.

Perguntas e respostas:

A) No item 3.0 que trata do Estudo de Caso da fábrica eletrointensiva o autor destaca o fornecimento da potência reativa necessária para correção do fator de potência que não era possível devido às harmônicas que impediam a operação de um dos bancos. Poderiam esclarecer esta afirmativa, ou seja, qual a relação entre as harmônicas e a operação dos bancos de capacitores? Notem que ao adicionar o reator houve redução da potência reativa à frequência fundamental

Antes da conversão existiam 2 bancos de capacitores de 6,0 MVAR - 23 kV com potência efetiva de 5,6 MVAR (total de 11,2 MVAR). A necessidade da planta para correção do fator de potência era de 7,7 MVAR para Cos $\phi=0,95$. No entanto, devido a uma forte ressonância harmônica e consequente sobretensão e sobrecarregamento dos bancos de capacitores um dos bancos estava desligado e o outro ligado paliativamente com potência reduzida (1,39 MVAR) apenas para minimizar o faturamento de energia reativa (multa).

B) O item 4.1 trata do filtro de sintonia de quinta harmônica no parque eólico. Aparentemente houve a necessidade de se desmontar o banco de capacitores existente e se aproveitar as unidades capacitivas em outros arranjos? O autor tem conhecimento do custo desta solução comparando com a alternativa de se projetar um filtro de sintonia inicialmente?

Observando as figuras 7 e 9 do IT, verifica-se que transformou-se um banco de capacitores em 2 filtros de harmônicas. Para isto, foi necessário apenas a aquisição de mais 12 unidades capacitivas iguais às 12 existentes e uma adequação das estruturas metálicas de suporte. Os reatores e resistores já seriam adquiridos de qualquer forma, apenas foram re-especificados para atenderem à utilização dos capacitores existentes. Assim, todos os equipamentos de manobra e proteção, bem como unidades capacitivas, TCs de desequilíbrio e chaves de terra foram reaproveitados, o que resultou em uma economia estimada em 70% se considerados filtros novos e obras civis e eletromecânicas.

C) Os aerogeradores do parque eólico operam sempre no mesmo modo em qualquer condição de vento? (Por exemplo gerando potência máxima e absorvendo potência reativa)? Ou pode mudar o modo de operação em função da velocidade do vento ou alguma outra situação (por exemplo - controle de tensão)? Ao variar a condição de operação o banco de capacitores para correção de fator de potência poderia ser desligado. Porém o filtro para controle de distorção harmônica também pode ser desligado?

Sim, os aerogeradores mudam as suas condições operacionais em função do vento, desde plena carga até a uma situação extrema de "running-off". Mas, internamente, os conversores em geral conseguem manter o fator de potência dentro da faixa requerida. Na realidade, a maior necessidade de instalação de bancos de capacitores tem o propósito de compensar o reativo indutivo gerado pelos transformadores dos aerogeradores, redes elétricas e transformadores elevadores, para atender o fator de potência no ponto de conexão conforme os procedimentos de rede. Dessa forma, os bancos de capacitores sempre ficam ligados assim como ficarão os filtros de harmônicas, cujas soluções atendem a uma vasta gama de configurações; condições de cargas e contingências operacionais. No nosso caso, a necessidade de reativo suprido pelo banco de capacitores foi de 9,0 MVAR e após a conversão os filtros performaram 9,8 MVAR. Não foi a situação deste estudo especificamente, mas existe uma situação em outros parques eólicos que, no caso de baixa geração (redução de vento), a linha de transmissão torna-se um grande capacitor, dificultando o controle de tensão e, nesses casos, há necessidade de instalação de reatores na subestação do parque, e aí se faz a compensação sem necessidade de desligamento dos bancos de capacitores (ou dos filtros de harmônicas).

3.8 - Projeto da Melhoria do Compensador Estático de Fortaleza Necessidade da Troca do BC por um Filtro Amortecido Tipo C

LUIZ CARLOS DE ALCANTARA FONSECA(1); DALTON FRANCA GUEDES FILHO(1); - CHESF(1);

O compensador estático de Fortaleza 230 kV, necessita a troca dos seus bancos de capacitores por ter sua vida útil ultrapassada. Na época de sua instalação os estudos de distorção harmônica de tensão não apresentaram a necessidade de filtros de harmônicas, para a operação normal em 12 pulsos, bem como para a operação precária em 6 pulsos. O estudo da reavaliação da aplicação deste compensador concluiu que para a operação em 12 pulsos, sem que sejam ultrapassados limites de tensão harmônica estabelecida pelo ONS no ponto de acoplamento comum (PAC) que é a barra de Fortaleza, é necessário que os bancos de capacitores shunt, originalmente instalado sejam trocados por filtros amortecidos sintonizados na 11ª harmônica. Na operação em 6 pulsos, para que os limites de tensão harmônica no PAC fossem atendidos seriam necessários dois filtros sintonizados nas harmônicas 5ª e 7ª. Para que esta solução seja eficaz a resistência em paralelo ao reator do filtro amortecido, teve que ser da ordem de 30 Ohm, o que levaria a muitas perdas. Uma alternativa, para evitar estas perdas, foi estudada e é apresentada neste artigo.

Perguntas e respostas:

A) Aparentemente antes da substituição havia 2 x 100 MVAR (banco de capacitores). Podem os autores confirmar os nominais dos bancos de filtros após a substituição (não apenas os reativos capacitivos) ? Quais as correntes máximas de 5a e 7a harmônicas que podem passar nos respectivos filtros sintonizado para que não haja sobrecarga?

B) O estudo harmônico contemplou alternativas de filtros passivos de diversas naturezas. A previsão da instalação destes novos filtros, principalmente os sintonizados na quinta e sétima harmônicas, poderá resultar em sobrecarga devido à absorção de correntes harmônicas oriundas de outras localidades do sistema elétrico diferentes do CER? Consideraram a instalação de filtros ativos de forma a compensar apenas a corrente harmônica do CER?

C) Os autores mencionaram que o compensador estático precisa substituir seus bancos de capacitores devido a superação de sua vida útil. Os demais ativos do compensador estático (reatores, transformadores, válvulas, eletrônica) possuem vida útil mais elevada? Está prevista a sua substituição?

3.9 - Identificação e Análise das Inconsistências e dos Critérios Conservadores da Metodologia de Avaliação do Desempenho Harmônico de Parques Eólicos no Brasil

MIGUEL PIRES DE CARLI(1); - ESUL(1);

O presente Informe Técnico (IT) identifica e analisa as possíveis inconsistências e critérios conservadores da metodologia de avaliação do desempenho harmônico de parques eólicos adotada no Brasil. A motivação para este trabalho é o elevado número de usinas eólicas com necessidade de aplicação de filtros em função de resultados de estudos realizados com uma metodologia conservadora, a qual combina uma série de eventos de baixa probabilidade, gerando resultados pouco prováveis. Além disto, a experiência operativa de parques eólicos brasileiros demonstra, em grande parte dos casos, que medições de longo prazo realizadas em pontos de acoplamento de parques eólicos apresentam valores bastante divergentes dos previstos nos estudos. Desta forma, o artigo apresenta as possíveis inconsistências da metodologia e modelagens aplicadas para os estudos de desempenho harmônico de parques eólicos e propõe possíveis ajustes e melhorias tanto para a metodologia e processo de avaliação do desempenho harmônico como para o gerenciamento das distorções sistêmicas. O artigo conclui que a metodologia adotada no Brasil para a avaliação do desempenho harmônico de parques eólicos resulta em previsões irrealistas do impacto provocado pelos empreendimentos. Sendo de extrema importância, portanto, realizar ajustes na metodologia e processo de avaliação do desempenho harmônico para a obtenção de resultados mais realistas e não onerar de forma inadequada os empreendimentos eólicos.

Perguntas e respostas:

A) Poderia o autor explicar sobre a falta de exatidão incorrida com o cálculo da corrente de acordo com a equação 1?

A falta de exatidão ocorre devido ao fato de os fatores de agregação propostos pela IEC serem valores sugeridos para utilização na falta de valores mais adequados às características da instalação e do tipo de conversores utilizados. Tais fatores e equação visam representar de alguma forma a atenuação de tensões ou correntes oriundas de múltiplas fontes devido às defasagens angulares entre elas. Em certos tipos de instalações com conversores comutados pela rede, pode ser razoável considerar que as correntes de cada uma dos conversores em barras próximas possam ter correntes em fase, o que resulta em uma soma linear. No entanto, em grandes parques eólicos com diversos ramos com comprimentos variados e com conversores com modulação PWM, ou seja, com chaveamentos independentes, é pouco provável que as correntes de cada um dos aerogeradores (algumas vezes centenas) cheguem ao PAC com o mesmo ângulo - o que é considerado, por exemplo, para harmônicos de 2ª a 4ª ordem. Isto não é esperado, pois os diversos aerogeradores de um parque normalmente não operam todos com a mesma potência, os quais tem conversores com chaveamentos independentes e as distâncias (impedâncias) dos terminais de cada aerogerador até o PAC são totalmente diferentes, portanto, a soma das correntes provenientes dos diversos aerogeradores devem ter algum defasamento e atenuação quando chegam ao PAC, mas que dependem das características de cada parque e conversores e podem inclusive variar ao longo do tempo.

B) Com relação a sugestão apresentada nas conclusões: "um sistema de monitoramento e gestão das distorções com capacidade de aquisição, armazenamento e análise das distorções para tomada de decisão". Na sua opinião se cada agente mantivesse à disposição do operador do Sistema dados de longo prazo que pudessem ser consultados a pedido deste. Esta metodologia poderia funcionar?

Não diria que a metodologia funcionaria, mas o processo de avaliação das distorções e gestão do problema poderia ser melhor conduzido e mais aderente ao que de fato ocorre. Com um sistema de monitoramento de longo prazo é possível analisar e correlacionar variações ocorridas nas distorções com eventos sistemáticos, como a entrada em operação de empreendimentos ou aumento da potência instalada de uma instalação, bem como visualizar tendências de comportamento das distorções. Tais informações poderiam ser utilizadas conjuntamente com avaliações de estudos de desempenho harmônico e técnicas de atribuição de responsabilidades

C) Em diversos trechos do artigo o autor cita as distorções de tensão preexistentes na rede e que não são consideradas na metodologia de aprovação existente. Na sua opinião deveriam ser consideradas? Como?

3.10 - Impacto da modelagem das Linhas de Transmissão na análise harmônica de sistemas com geração eólica.

JAQUELINE GOMES PEREIRA(1); Tatiana Mariano Lessa Assis(2); ROBSON FRANCISCO DA SILVA DIAS(3); FABIANO ANDRADE OLIVEIRA(4); - ONS(1);COPPE(2);COPPE/UFRJ(3);ONS(4);

Este artigo analisa a modelagem das linhas de transmissão, em função da frequência, na metodologia utilizada no sistema brasileiro para a avaliação do impacto harmônico devido à conexão de um parque eólico no sistema de transmissão. As sensibilidades foram verificadas principalmente para duas formas de representação das linhas: considerando a modelagem atualmente empregada, utilizando o programa HarmZs, e uma modelagem mais detalhada em relação à variação dos parâmetros com a frequência, através do programa PSCAD. As principais discrepâncias identificadas foram para as altas frequências, sendo proposta a utilização de um intervalo harmônico variável como alternativa para acomodar tais diferenças.

Perguntas e respostas:

A) A figura 4 apresenta resultados de cálculo da impedância externa por ambas as ferramentas computacionais. Poderiam os autores destacar qual o máximo erro obtido entre as mesmas para h=5 (baixa ordem), h=15 (média ordem), h=35 (alta ordem)?

Para a 5ª ordem harmônica o erro obtido equivale a 1% em relação ao cálculo realizado no programa PSCAD, tanto para o módulo quanto para o ângulo da impedância. Nesse caso, o módulo da impedância calculado no programa HarmZs é superior ao calculado no PSCAD. Em relação à 15ª ordem harmônica, o erro obtido foi igual a 13% para o módulo e 4% para o ângulo, tomando como base o cálculo realizado no programa PSCAD. O módulo da impedância calculado no HarmZs foi maior ao resultado do PSCAD. Já o erro obtido na 35ª ordem harmônica foi igual a 43% para o módulo e 18% para o ângulo, ambos em relação ao cálculo realizado no programa PSCAD. O maior valor do módulo da impedância foi encontrado no programa PSCAD.

B) Os resultados destacados em amarelo na tabela 1 representam as ordem harmônicas em que a instalação sob análise foi reprovada? Caso afirmativo neste caso o empreendedor precisaria colocar filtros sintonizados na oitava e nona harmônicas? Isto é usual no sistema elétrico brasileiro?

Neste caso, o empreendedor deve indicar no seu estudo de acesso uma solução de filtragem que possibilite que estas ordens harmônicas violadas sejam mantidas dentro dos limites especificados nos Procedimentos de Rede. Não significa que estes filtros serão sintonizados exatamente na oitava e na nona ordens harmônicas, já que provavelmente um filtro amortecido na 7ª ordem harmônica possibilite solucionar essa violação, por exemplo. Adicionalmente, a Nota Técnica do ONS nº 009/2016 indica que filtros de ordem par não necessitam ser implantados imediatamente, a não ser que o sistema apresente algum problema de violação na mesma ordem em que tal filtro tenha sido dimensionado, o que necessita ser identificado através de medições. A violação destas ordens harmônicas em estudos de impacto de parques eólicos não é o resultado mais usual, mas ocorre em alguns casos.

C) Por favor esclareçam melhor a conclusão do artigo que está relacionado com o intervalo de incremento da frequência de cálculo. Para segunda harmônica, por exemplo, deve-se calcular a partir de qual frequência? E até qual frequência? Com qual passo?

A proposta é que o intervalo seja aplicado para todas as frequências, o que inclui a frequência de 114 Hz para a segunda ordem harmônica, assim como propõe-se considerar a frequência igual a 3090 Hz para a 50ª ordem harmônica. Em todos os casos o passo harmônico a ser mantido é igual a 6 Hz.

3.11 - RESULTADOS DE CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMAS COM COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS - ANÁLISE DO IMPACTO DE OUTROS AGENTES NA AMPLIFICAÇÃO DE HARMÔNICOS EM SISTEMA DE 500 kV

NELSON CLODOALDO DE JESUS(1); JOÃO ROBERTO COGO(2); LUIS FERNANDO RIBEIRO FERREIRA(3); ÉVERSON JÚNIOR DE MENDONÇA(4); LUIZ MARLUS DUARTE(5); LEANDRO MARTINS FERNANDES(6); JESUS DANIEL DE OLIVEIRA(7); - GSI(1);GSI(2);GSI(3);GSI(4);GSI(5);GSI(6);GSI(7);

Este trabalho apresenta uma avaliação dos resultados obtidos em campanhas de medição de qualidade da energia elétrica (QEE) na rede básica em 500 kV. Para esta análise, serão apresentados os resultados das campanhas de medição relacionadas as condições de pré e pós-operação de um Compensador Estático de Reativos (CER) com potências nominais de -100 a +200 Mvar. A análise comparativa entre as medições evidencia uma significativa mudança nos comportamentos das distorções das tensões na segunda campanha, com variações intermitentes durante toda a operação, sendo caracterizada a presença de inter-harmônicas com frequências elevadas. Adicionalmente, apresentam-se os resultados da operação do equipamento, com comportamento adequado e características normais. Destaca-se que, apenas na última campanha de medição foram registrados indicadores atípicos e não esperados para o sistema em 500 kV, cujo comportamento não está diretamente relacionado à operação do equipamento de compensação, destacando-se a possível influência da entrada de geração eólica.

Perguntas e respostas:

A) O item 2.0 afirma que os resultados obtidos nas campanhas foram corrigidos em função da resposta em frequência para cada fase. Trata-se da resposta em frequência do TPC? Poderiam os autores indicar como foram obtidas estas respostas em frequência e qual o valor da mesma para a faixa entre os harmônicos 33 e 41?

Sim. A correção dos componentes harmônicos foi realizada em função das respostas em frequência obtidas nos ensaios dos TPCs para cada fase. Estas respostas em frequência foram obtidas por ensaios com a utilização de equipamentos específicos para este tipo de análise (FRA - Frequency Response Analyser), obtendo-se as funções de transferência e as impedâncias terminais para a faixa de frequência entre 17 Hz a 2 MHz. Como foram verificados pelos resultados dos ensaios em todas as fases, os ganhos do TPC são mais significativos especialmente na faixa próxima ao componente de 10a ordem (com variações nas bandas entre a 6a a 14a ordens). Para a faixas de frequências citadas (componentes harmônicos entre a 33a e 41a ordens), as mesmas não apresentaram variações significativas, seja de amplificação ou atenuação, pois os respectivos ganhos permaneceram próximos da unidade (ganho = 1).

B) Os autores citam que a referência (5) trata de um estudo de caso com comportamento similar, verificado internacionalmente, com oscilações harmônicas dinâmicas. Poderiam os autores indicar se nesta referência internacional foi diagnosticada a causa, ou pelo menos há alguma hipótese, para este comportamento da distorção harmônica e o que se pode empreender para resolver?

Em relação à referência citada, a mesma indica possíveis amplificações de harmônicos devido à presença de sistemas eólicos, destacando-se componentes típicos de alguns fabricantes de aerogeradores, que para determinados resultados, até coincidem com as faixas de harmônicos preponderantes verificados pelos registros da segunda campanha de medição. Ressonâncias podem amplificar a emissão de harmônicos. Destaca-se que em função das várias incertezas, estudos de harmônios são necessários antes da conexão, e que estes estudos deveriam ser mais amplos do que somente uma comparação da emissão primária com os limites recomendados para as distorções das tensões e correntes. O referido trabalho salienta ainda que o impacto de aerogeradores ao sistema (Grid) não é determinado pela emissão individual das turbinas eólicas, mas pela emissão do parque como um todo (agregada).

C) Nos últimos anos muito se tem discutido à respeito de como aprovar uma instalação a ser conectada ao SIN do ponto de vista de estudos harmônicos (esta discussão envolve mais diretamente a ligação de complexos eólicos). Os resultados medidos pela segunda campanha nos levam a crer que eventualmente todo este processo precise ser revisto. Os autores teriam algo a comentar sobre esta questão?

Os resultados obtidos na segunda campanha de medição de QEE podem ser considerados como atípicos e pontuais, não tendo relação direta com a operação de compensadores estáticos de reativos do tipo convencional - SVC (constituídos por reatores controlados a tiristores, capacitores chaveados a tiristores e filtros de harmônicos passivos), indicando possivelmente comportamento divergente, especialmente em relação às simulações e estudos de fluxo harmônico. Entende-se que os procedimentos de medição estão mais consolidados para a comparação com os indicadores, caracterização das distorções e determinação do perfil dos componentes harmônicos, devendo ser verificadas as correções com as respostas em frequência dos transdutores, bem como, principalmente, evitar interferências causadas por possíveis influências de outros agentes nos resultados, quanto da análise específica de uma conexão ao sistema durante o período de realização das campanhas de medição no ponto de análise. Sobre o processo de análise como um todo, apesar dos resultados obtidos na segunda campanha de medição, nem todo o processo deve ser alterado, mas entendemos que devem ser revistos, com possíveis melhorias na metodologia dos estudos, sendo necessária alguma forma de validação e aperfeiçoamento nos critérios de dimensionamentos de filtros. Com vários casos e divergências encontradas em relação às medições e os estudos de desempenho harmônico dos sistemas frente à conexão de cargas não lineares, necessidade de avaliação detalhada de possíveis ressonâncias ou amplificações de harmônicos, em nossa opinião, entendemos como necessária uma melhoria do processo a partir da análise crítica de engenharia quanto ao desempenho dos filtros de harmônicos, buscando obter resultados mais assertivos em relação ao processo de conexão de cargas não lineares e seus impactos ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

3.12 - Análise das solicitações impostas por linhas subterrâneas sobre o sistema interligado

GRACITA BATISTA ROSAS(1); PABLO MOURENTE MIGUEL(2); MARCELO MENDONÇA GONÇALVES(3); VENILTON RODRIGUES DE OLIVEIRA(3); HELIO PESSOA DE OLIVEIRA JR(4); MIGUEL ARMINDO SALDANHA MIKILITA(5); JEFERSON SHIMOMURA(6); - COPEL(1);TgDelta(2);JORDÃO ENG.(3);ONS(4);COPEL(5);COPEL(6);

Este informe técnico apresenta uma investigação a respeito da existência de possíveis ressonâncias associadas a inclusão da nova SE 230 kV Curitiba Centro, isolada a gás, com duas unidades de transformação de 150 MVA e da nova LT 230 kV Curitiba Centro – Uberaba, circuito duplo subterrâneo no sistema interligado nacional. A investigação foi baseada principalmente nas distorções das ondas de tensão, que dependem da impedância da rede e da corrente harmônica gerada pela carga. Os resultados alcançados destacam a importância de se avaliar esse fenômeno em expansões de sistemas elétricos de potência.

Perguntas e respostas:

A) Os autores poderiam comentar sobre a modelagem do transformador relativa a fluxo residual? Quais os valores utilizados?

Foi considerado o valor de 60 % para o fluxo residual, conforme preconizam as Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico do ONS.

B) Foi realizada análise da suportabilidade do transformador para a sobretensão encontrada e elevado nível de 4 harmônico?

Foi verificada a sobretensão total nos terminais do transformador. As sobretensões geradas pelos harmônicos individualmente não foram verificadas, posto que o efeito sobre o transformador é da composição total dos harmônicos, que por apresentarem ângulos de fase diferentes, fazem com que a tensão não seja obtida apenas pelo produto de uma corrente por uma impedância, mas sim pela soma fasorial de diversas tensões.

C) Qual a opinião dos autores sobre a possibilidade de existir outros eventos no sistema possíveis de excitar ressonâncias no sistema em análise?

Outros fenômenos de ressonância podem ocorrer quando da rejeição de carga, falha de abertura de fases de disjuntor, efeito de grandes capacitâncias e podem gerar ferroressonâncias no sistema.

3.13 - Aperfeiçoamento da Modelagem de Parques Eólicos para Estudos Elétricos com Base em Interações com Fabricantes e em Normas Internacionais

ANDERSON ROTAY GASPAS(1); ANDRE DELLA ROCCA MEDEIROS(1); ANDRE NASCIMENTO CAVALCANTI DE ALBUQUERQUE(1); ANTONIO FELIPE DA CUNHA DE AQUINO(1); ARLINDO LINS DE ARAUJO JUNIOR(1); FLAVIA MARIA CAVALCANTI FERREIRA(1); HAROLDO GEBIEN FILHO(1); JOSÉ MARIO MAMFRIN CAPANO JR.(1); MONICA FALCAO SOUTO(1); PEDRO HENRIQUE LOURENCO DOS SANTOS(1); - ONS(1);

Em função da crescente participação dos parques eólicos na matriz eletro-energética brasileira, o aprimoramento de sua modelagem tem se tornado imprescindível para a obtenção de resultados adequados dos estudos elétricos. Também se torna premente a necessidade de aperfeiçoar as diretrizes e critérios para a elaboração dos modelos para as simulações dinâmicas. A concepção e a análise destes modelos, bem como a avaliação dos resultados de estudos obtidos com seu uso requer o conhecimento do comportamento dinâmico real dos parques eólicos e dos seus controladores. Desta forma, este trabalho tem por objetivo apresentar as principais constatações, destacando possíveis aperfeiçoamentos para a modelagem dos parques eólicos nos estudos de fluxo de potência e transitórios eletromecânicos, com base em interações com fabricantes de aerogeradores e em Normas Internacionais. Como consequência, espera-se assegurar que os resultados obtidos em ambiente de estudo tornem-se cada vez mais aderentes ao comportamento real dos equipamentos, fornecendo subsídios adequados para a operação do Sistema Interligado Nacional – SIN.

Perguntas e respostas:

A) Como os autores entendem que deve ser o procedimento de validação dos códigos anatem com o sistema real e/ou com os modelos de simulação de outros softwares?

É de suma importância que sejam realizados os testes de reais. Os testes são divididos em duas etapas: A primeira é em relação ao teste do desempenho do próprio aerogerador que neste caso somente precisa ser realizado com um único modelo. Neste caso pode ser comparado a resposta do Anatem com a resposta obtida em campo ou em relação a outro modelo já validade com as curvas obtidas em campo. A segunda etapa são testes da planta em si, onde são realizados testes programados com ONS de variação dos recursos de potência reativa/ativa e controle de tensão do Parque Eólico como um todo.

B) Qual é o elemento dos sistemas de geração ou de controle de aerogeradores que, na sua opinião, apresenta maior complexidade de representação no anatem? porque?

Os PLL (Phase-locked loop) são os equipamentos que tem influência no resultado dinâmico do sistema e atualmente não é possível ser realizada a sua representação no ANATEM devido a característica de Seq positiva utilizado pelo programa.

C) Nas conclusões, está escrito que foi identificada a necessidade de seu desdobramento em diversas ações, atualmente em adamento, poderia elaborar melhor umas destas ações?

Identificada a necessidade de aperfeiçoamento de diversos documentos que são divulgados para os agentes tais como: Elaboração de referência com Requisitos para Modelos, Modelo de Teste de Validação e de Comissionamento e até mesmo os Procedimentos de Rede e ainda aplicando tais documentos para Parques fotovoltaicos.

3.14 - Minirrede UFPR: Um benchmark para pesquisas em geração distribuída e eficiência energética

GUSTAVO HENRIQUE DA COSTA OLIVEIRA(1); ROMAN KUIAVA(1); GIDEON VILLAR LEANDRO(1); JOÃO AMÉRICO VILELA JÚNIOR(1); ROGERS DEMONTI(1); EDUARDO PARENTE RIBEIRO(1); JOÃO DA SILVA DIAS(1); ANDRÉ PEDRETTI(2); - UFPR(1);COPEL DIS(2);

Neste artigo, apresenta-se o estágio atual de implantação de uma minirrede com geração distribuída voltada para pesquisas em monitoramento (elétrico e ambiental), controle e desempenho do sistema elétrico. Esta minirrede está localizada no Campus Centro Politécnico (CP) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba e é parte de um projeto de P&D com apoio direto da Companhia Paranaense de Energia (Copel). A minirrede é constituída por 9 alimentadores em 13,8 kV, 3 fontes de geração distribuída e está conectada à rede sub-transmissão através da SE Capanema da COPEL Distribuidora. Além de sua configuração elétrica, são apresentados todos os componentes da minirrede, como a geração de energia, os medidores elétricos e ambientais, as μ PMU e o ambiente computacional de monitoramento do sistema.

Perguntas e respostas:

A) Qual é a economia de energia que a geração PV que está sendo construída trará para a universidade

B) Que estudos estão sendo feitos com os dados de PMU?

C) Existem outros aspectos de pesquisa na minirrede, não citados no artigo, estão fazendo uso desta estrutura que está sendo montada na universidade?

3.15 - METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO DE DEFEITOS MONOFÁSICOS COM O ANATEM CONSIDERANDO AS VARIAÇÕES DE TENSÃO NAS TRÊS FASES

JOSÉ SANDRO VALENÇA DO NASCIMENTO FILHO(1); ÁLVARO JOSÉ PESSOA RAMOS(1); RODRIGO BEZERRA VALENÇA(1); RAISSA SOUTO ALMEIDA(1); DÉIBSON JOSÉ GOMES DE SENA(1); - ANDESA(1);

A representação monofásica da rede através da sequência positiva, como utilizada nos programas de simulação dinâmica, representa uma limitação a ser considerada em inúmeros eventos dos modernos sistemas onde se instalam crescentemente dispositivos de controles rápidos e complexos baseados na eletrônica de potência. Compensadores estáticos e inúmeros tipos de conversores associados à geração eólica e solar apresentam em geral, esquemas de controle que atuam com base nas tensões das três fases de forma independente. Em casos de defeitos monofásicos, quando a tensão na fase defeituosa se torna abaixo de um certo valor, ocorrerá a ativação de funções especiais de controle que resultarão, por exemplo, em zerar a geração de potência reativa (em alguns casos, de geração eólica ou solar, a geração de potência ativa também se torna nula). Este comportamento do equipamento real não é reproduzido na simulação com o ANATEM que só monitora a tensão de sequência positiva. Em áreas do sistema com grandes concentrações de compensadores estáticos e conversores de geração eólica e solar, os resultados de simulações de defeitos monofásicos com o ANATEM envolvem erros consideráveis comprometendo a confiabilidade das análises. Este trabalho mostra casos exemplos deste problema e analisa eventuais possíveis procedimentos a serem implementados no programa ANATEM. Obviamente, a viabilidade e a seleção da melhor metodologia para este objetivo deverão ser analisadas e definidas pela equipe de desenvolvimento do ANATEM do CEPEL.

Perguntas e respostas:

A) Como são tratados os contornos estes erros cometidos pelo ANATEM, com relação aos CE, conversoras de eólicas e solar, em outros programas de simulação dinâmica de outros países, com exceção do DigSilent?

As pesquisas realizadas para o desenvolvimento do trabalho não cobriram tais análises internacionais.

B) Os autores consideram viável a implementação do cálculo no ANAFAS, de forma automática, através de comando inserido dentro do arquivo .STB do ANATEM?

Sim, todavia existem outras dificuldades, tais como: compatibilização dos números de barra e dos casos base do ANAFAS com os casos base do ANAREDE.

C) Há alguma experiência prática de problemas operativos devido à essa limitação dos estudos dinâmicos?

Os autores não tem conhecimento de problemas operativos envolvendo essa limitação até esse momento.

3.16 - Melhorias no desempenho dos Sistemas Elétricos de Potência via pequenas mudanças no fluxo de carga continuado

ALFREDO BONINI NETO(1); JHONATAN CABRERA PIAZENTIN(2); DILSON AMANCIO ALVES(2); - FCE - UNESP(1);UNESP(2);

A alta intermitência nos atuais sistemas de energia renováveis e o custo proibitivo de atualizar a infraestrutura de rede junto com o crescimento da carga, tornaram a instabilidade de tensão uma ameaça iminente para muitos sistemas de energia. Isso exige maneiras mais rápidas e eficientes de identificar os limites de estabilidade de tensão. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi criar uma técnica para obtenção da margem de carregamento, sem problemas relacionados a matriz Jacobiana (J) e com baixo tempo de CPU. Nos resultados, a técnica mostrou-se eficiente, com uma redução em torno de 7% respectivamente, quando comparado com outras metodologias.

Perguntas e respostas:

A) Existe comercialmente algum programa de fluxo de potência continuado que considera, sistemas elétricos de distribuição (tensão ≤ 138 kV) com cargas desequilibradas e com fontes intermitentes de energia, como as UFV?

Os autores no momento desconhecem a existência de softwares comerciais que disponham de métodos de fluxo de potência continuado (FCC), geração fotovoltaica (UFV), para distribuição e trabalham com cargas desequilibradas. Embora na literatura já existam artigos que tratam do assunto (sistemas elétricos de distribuição com cargas desequilibradas) que não contemplam simultaneamente a todos os itens colocados, mas que contemplam partes dos itens levantados [1], [2], [3] e [4]. [1] M. Abdel-Akher, "Voltage stability analysis of unbalanced distribution systems with wind power penetration", Power and Energy (PECon) 2012 IEEE International Conference on, pp. 784-789, 2012. doi: 10.1109/PECon.2012.6450323. [2] M. Abdel-Akher. Voltage stability analysis of unbalanced distribution systems using backward/forward sweep load-flow analysis method with secant predictor. IET Generation Transmission

B) Se sim, é possível utilizar o Fluxo de Carga Continuado Proposto para sistema de distribuição com cargas desequilibradas?

Os autores no momento desconhecem a existência de softwares comerciais que disponham de métodos de fluxo de potência continuado (FCC), geração fotovoltaica (UFV), para distribuição e trabalham com cargas desequilibradas. Por outro lado, existem vários artigos (resposta 1) que contemplam o assunto proposto. Os autores não trabalharam ainda com cargas desequilibradas, apenas para casos de redes de transmissão em sistemas equilibrados. Neste caso, fica como sugestão de futuros trabalhos com o objetivo de utilizar o fluxo de carga continuado proposto em sistemas de distribuição desequilibrados.

C) Nos estudos de fluxo de potência continuado são consideradas possíveis contribuições com injeções ou compensações de potência reativa provenientes das conversoras de corrente contínua das geradoras eólicas e fotovoltaicas?

É possível sim, podemos citar como exemplo os artigos [5], [6] e [7]. Em [5], estudou o impacto da geração fotovoltaica (PV) em larga escala, com nível de penetração de até 50%, na regulação da tensão do sistema de distribuição e na estabilidade da tensão. Os resultados mostraram que os inversores de interface PV operaram para suporte de energia reativa no sistema de distribuição, resultando em melhor perfil de tensão, uma operação segura dos sistemas de energia e aumento da vida útil dos transformadores de comutação on-line devido à minimização do número total de operações de comutação. Em [6] é apresentado uma abordagem para resolver a simulação time-series (TSS) para sistemas de distribuição desequilibradas trifásica com controle de regulador de tensão e geração fotovoltaica (PV). Os resultados obtidos comprovam a eficácia do TSS desenvolvido na redução do número de iterações e do tempo de execução em comparação com o método tradicional. Já em [7] é proposto um método aprimorado de fluxo de potência continuado para o sistema AC/DC. São apresentadas as estratégias de controle de três níveis e a coordenação dos modos de controle para sistemas DC. Simulações numéricas mostraram que a abordagem apresentada em [7] apresentaram vantagens em termos de convergência e velocidade. [5] M. M. Aly, M. Abdel-Akher, Z. Ziadi, e T. Senjyu, "Assessment of reactive power contribution of photovoltaic energy systems on voltage profile and stability of distribution systems?", Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 61, p. 665-672, out. 2014. doi: 10.1016/j.ijepes.2014.02.040. [6] A. Selim, M. Abdel-Akher, M. M. Aly and S. Kamel, "Efficient time series simulation of distribution systems with voltage regulation and PV penetration," 2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, 2016, pp. 717-722. doi: 10.1109/MEPCON.2016.7836972. [7] C. Liu, A. Bose, M. Han, e X. Chen, "Improved continuation power flow method for AC/DC power system?", in 2011 IEEE Electrical Power and Energy Conference, Winnipeg, MB, Canada, 2011, p. 192-198. doi: 10.1109/EPEC.2011.6070194.

3.17 - COMPARAÇÃO ENTRE REGISTROS DE ENERGIZAÇÃO REAIS E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS EXISTENTES DE TRANSFORMADORES E AUTOTRANSFORMADORES E PROPOSTA DE NOVO MODELO

JOÃO PAULO FERNANDES LIMA(1); ANIELA MARIA PEIXOTO MENDES DE MATTOS(1); - ELN(1);

O presente informe técnico realiza a comparação das respostas dos principais modelos de transformadores atualmente disponíveis no programa Alternative Transients Program (ATP), General Saturable Transformer - SATTRAFO e BCTRAN, com registros oscilográficos de energizações de equipamentos da Eletronorte. Apresenta-se a proposta de um modelo alternativo, o qual representa de forma mais precisa a topologia do núcleo, além de considerar a presença do reator limitador de curto-circuito interno aos equipamentos.

Perguntas e respostas:

A) Na introdução os autores afirmam que os estudos de energização de transformadores são realizados para quantificar além das correntes de fase, as correntes de neutro. Entre as conclusões do artigo consta que nenhum modelo apresentado representa fielmente o amortecimento das correntes de inrush, sendo o amortecimento da vida real mais intenso do que o obtido em simulações, inclusive o comportamento da atenuação da corrente de neutro. Diante disso, qual a importância e relevância em quantificar as correntes de neutro em estudos de energização de transformadores?

A quantificação das correntes de neutro permite avaliar a possibilidade de atuação de proteção durante a energização do transformador, como por exemplo, a proteção de sobrecorrente de neutro, unidades instantânea e temporizada. Essa avaliação é realizada por meio da comparação entre a curva correspondente à máxima corrente de neutro (identificada no estudo estatístico) e a curva de tempo inverso utilizada pelo relé de sobrecorrente. Adicionalmente, na fase de projeto de transformadores com neutros aterrados por impedância, o nível de isolamento do neutro deverá ser dimensionado para suportar as sobretensões transitórias geradas pelas correntes de neutro, que são quantificadas nos estudos de energização.

B) O item 8.5.4 do submódulo 2.3 (Requisitos Mínimos para Subestações e Seus Equipamentos) dos Procedimentos de Rede do ONS, tem a seguinte redação: "Os disjuntores das unidades transformadoras de potência e dos bancos de capacitores em derivação devem ser dotados de elementos ou sistemas que limitem os transitórios de energização desses equipamentos, com o intuito de não causar sobretensões, sub-tensões ou sobrecorrentes que afetem o desempenho da rede ou causem o funcionamento indevido dos sistemas de proteção e controle." De acordo com a experiência dos autores, para o atendimento ao item 8.5.4, a preferência seria por aplicação de dispositivos de manobra controlada ou por resistores de pré-inserção e porquê?

A preferência dos autores é pela utilização de dispositivos de manobra controlada, por serem mais efetivos na redução da corrente de inrush. Entretanto, possíveis erros no cálculo do fluxo residual podem afetar significativamente o desempenho desses dispositivos, além de serem bastante sensíveis aos ajustes mecânicos do disjuntor. Resistores de pré-inserção, por outro lado, constituem uma solução mais simples, sendo independentes do fluxo residual e menos suscetíveis aos ajustes do disjuntor. Todavia, os resistores são menos efetivos que os dispositivos de manobra controlada, uma vez que sua atuação pressupõe apenas a redução da tensão aplicada ao enrolamento primário do transformador proporcionada pela queda de tensão em seus terminais, levando à redução do fluxo magnético no núcleo. Sendo assim, não há garantias quanto ao comando de fechamento em instantes mais favoráveis à condução da manobra, como nos dispositivos supracitados.

C) No primeiro caso citado, transformador trifásico 230-69 kV 30 MVA, pode-se entender que a estimativa do fluxo residual foi feita a partir da análise da oscilografia, cálculo por meio de integral temporal da tensão, interpretação da oscilografia de tensão e estimativa do fluxo com base no conhecimento da característica de saturação. É possível um maior detalhamento da estimativa do fluxo residual realizada? Nas situações de energização futura, em que oscilografia não possa ser referência, como o fluxo residual deve ser considerado já que parece ser fundamental para a resposta do novo modelo proposto?

A estimativa do fluxo magnético residual nas três fases do transformador foi feita por meio de programa computacional de análise oscilográfica. Calculou-se o fluxo em cada uma das fases dos transformadores, $I(t)$, por meio da integral temporal da tensão secundária (lado 69 kV). Identificou-se, para cada fase, o instante em que a corrente sai de valores próximos a zero e passa a crescer rapidamente, assinalando esse instante como correspondente ao início da saturação. Para esse instante, estimou-se o fluxo residual pela diferença entre valor de fluxo no joelho da curva (referido ao lado de 69 kV) e o valor instantâneo do fluxo (medido no mesmo lado). Nas situações de energização futura, em que oscilografia não possa ser usada como referência, os autores sugerem utilizar a informação do fabricante do equipamento quanto ao fluxo residual máximo que pode ser obtido em uma das fases, considerando o fluxo residual nas outras duas fases como sendo a metade desse valor, com sinal oposto.

3.18 - Utilização de Respostas em Frequência de Impedâncias para Construção de Equivalentes Dinâmicos Multiportas de Redes Elétricas

THOMAS MOREIRA CAMPELLO(1); SERGIO LUIS VARRICCHIO(2); GLAUCO NERY TARANTO(3); - COPPE/UFRJ(1);CEPEL(2);COPPE/UFRJ(3);

Os equivalentes dinâmicos de rede (equivalentes dependentes da frequência) são uma alternativa aos equivalentes estáticos de baixa precisão. Um método muito utilizado para obtenção destes equivalentes é o método de Ajuste Vetorial, ou Vector Fitting, que fornece ao usuário Modelos Racionais (MRs) de baixa ordem a partir de respostas em frequência das Funções de Transferência (FTs) apropriadas. Na prática, costuma-se utilizar MRs provenientes de FTs de admitância quando se quer implementar estes equivalentes em programas de transitórios eletromagnéticos. Por isso, neste informe técnico, é mostrada a teoria de sistemas inversos, que permite a transformação de MRs de impedância em MRs de admitância, possibilitando suas implementações nestes programas. Outras vantagens desta metodologia serão estudadas futuramente.

Perguntas e respostas:

A) O item 5 mostrou os resultados obtidos tanto de impedância como de admitância (figuras 3 e 4) para a rede exemplo mostrada na figura 2. Uma vez obtidas estas curvas como são modelados estes equivalentes em programa de análise de transitórios eletromagnéticos? (por exemplo o ATP mencionado pelos autores). Ou seja como se usam estes resultados obtidos em um estudo de transitórios?

Uma vez em que os ajustes são realizados, são obtidos os polos e os seus resíduos associados do sistema composto pelas funções de transferências de interesse. Estes polos podem ser vistos na Figura 5. Os equivalentes são construídos a partir destes polos e existem algumas técnicas para isso. Dentre elas, a síntese de circuitos RLCs e a criação de equivalentes de Norton. Algumas referências citadas no artigo que mostram como faz esta construção dos equivalentes são: [1], [15] e [16].

B) Os resultados obtidos apontam um erro no processo de ajuste do VF da ordem de sete vezes 10 a menos 5. Pela experiência dos autores consegue-se sempre resultados com esta exatidão em variadas redes? Se o número de barras de fronteira fosse aumentado há impactos na exatidão?

A precisão do ajuste pelo VF está muito ligada à ordem que é dada pelo usuário para que o método faça o ajuste. Para curvas que possuem muitos picos, para uma boa precisão é necessário que se utilize uma ordem maior do que para curvas que tem menos picos. Assim, considerando que a ordem pode variar dependendo do sistema ajustado, é possível sim uma precisão desta ordem, ou até menor.

C) Qual a ferramenta computacional empregada no cálculo do Vetor Fitting? Por favor forneçam uma estimativa de qual tempo foi despendido pelo usuário para ajustar as curvas verdes Z(21,21), Z(21,23) e Z(23,23)

As simulações feitas para este artigo foram feitas em Matlab, porém no futuro existirá uma versão do programa HarmZs, fornecido pelo CEPEL, que possuirá o VF, para ajustes como estes. Com relação ao tempo de ajuste pelo VF, o tempo despendido pelo usuário foi de 25 segundos, aproximadamente.

Comentário: A formatação deste IT está diferente dos demais repetiram o logo do SNPTTE em todos as páginas e não consta a numeração das mesmas. Favor corrigir

3.19 - Modelagem de Carga via Algoritmo Genético

JOSUÉ FERNANDO LEAL GRANADOS(1); JOÃO ANTÔNIO DE VASCONCELOS(2); RODRIGO LEONARDO VALADÃO(3); Wallace da Silva Castro(4); Marcos Felipe de Oliveira Ribeiro(5); - UFMG(1);UFMG(2);Cemig D(3);UFMG(4);UFMG(5);

Este trabalho propõe uma metodologia para a modelagem de carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE), bem como, um algoritmo de otimização, mais especificamente um Algoritmo Genético (AG), para a correta modelagem de carga. Para fins de validação, os modelos de carga obtidos pela otimização são utilizados para o cálculo preciso das perdas técnicas em um SDEE. Igualmente, o modelo de carga padronizado no Brasil também é validado a partir do cálculo das perdas técnicas. Por fim, são apresentados como resultados o perfil de tensão e as perdas técnicas obtidas em um SDEE do Brasil.

Perguntas e respostas:

A) Na figura 1 onde se calcula a perda técnica em função da tensão os autores mencionaram que trata-se de um circuito que corresponde a um gerador uma linha (alimentador) e uma carga. As perdas técnicas incluem a perda no alimentador + a carga propriamente dita? Ou apenas a perda técnica no alimentador?

A ANEEL define: "Perdas Técnicas: são inerentes ao transporte da energia elétrica na rede, relacionadas à transformação de energia elétrica em energia térmica nos condutores (efeito joule), perdas nos núcleos dos transformadores, perdas dielétricas, etc. Podem ser entendidas como o consumo dos equipamentos responsáveis pela distribuição de energia." Neste trabalho são apresentadas as perdas técnicas nas linhas de distribuição e nos transformadores do sistema, elas são calculadas usando o software OpenDSS. No caso da Figura 1 é apresentada a perda técnica que ocorre na linha de um sistema exemplo com duas barras.

B) Na figura 6(a) os autores poderiam explicar o que é o modelo padronizado (M. Aneel)? o modelo de referência (M. Referência)? e qual foi a otimização empreendida? O algoritmo genético (fitness) perturbou a tensão do sistema para calcular os coeficientes?

Na segunda página do documento é apresentado o modelo ANEEL. Esse modelo (ANEEL) não é mais que 6 coeficientes definidos como: $Zq=1$, $Iq=0$, e $Pq=0$ e $Zp=0.5$, $Ip=0$, e $Pp=0.5$. Vale ressaltar que os coeficientes ZIP da potência ativa e reativa são identificados respectivamente pelos índices p e q. O modelo de referência é construído usando a metodologia para a obtenção do modelo de carga ZIP apresentada na Figura 2. O propósito da metodologia apresentada na FIGURA 2 é encontrar 6 coeficientes, três deles, Zp^* , Ip^* , Pp^* representam a potência ativa e outros três coeficientes, Zq^* , Iq^* , Pq^* representam a potência reativa (veja-se o bloco 6 da FIGURA 2). Para encontrar tais coeficientes, é preciso fazer a agregação (cálculo equivalente) dos coeficientes de todos os componentes da unidade consumidora (geladeira, lâmpada, etc.), o cálculo é explicado na referência 8. O algoritmo genético é desenvolvido para otimizar 6 coeficientes, três deles, Zq , Iq , e Pq para representar da melhor maneira o consumo de potência reativa das cargas e, outros três, Zp , Ip , e Pp para representar da melhor maneira o consumo de potência ativa das cargas. Um indivíduo é um vetor com 6 coeficientes ZIPs. Finalmente, a função fitness permite quantificar o quão bom é um indivíduo, lembrando que, quanto maior for o valor de fitness melhor será o indivíduo.

C) Por favor expliquem os resultados exibidos na Tabela 2 os coeficientes (Zp , Ip e Pp), (Zq , Iq e Pq) se aplicam a todas as barras do sistema em uma determinada hora?

Correto, os coeficientes (z_p , Ip e Pp), (z_q , Iq e Pq) exibidos na Tabela 2 se aplicam a todas as barras do sistema em uma determinada hora. Na Figura 8-(b), o horário das 6 horas apresenta o maior erro percentual de perdas técnicas tanto para o modelo ANEEL quanto para o modelo Otimizado. Assim, na Tabela 2 são apresentados valores para a potência ativa, $Zp = 0.4119$, $Ip = 0.4330$, $Pp = 0.1551$, uma vez que $Zp > Ip > Pp$, é possível concluir que a contribuição de Zp é predominante nesse horário (a carga se comporta predominantemente impedância constante). Esse modelo Otimizado é consideravelmente diferente ao modelo ANEEL ($Zp=0.5$, $Ip=0$, e $Pp=0.5$). Já, o modelo ZIP otimizado da potência reativa é definido por $Zq = 1.8122$, $Iq = -0.3298$ e $Pq = -0.4824$, igualmente, no modelo existe predominância de impedância constante. O modelo ANEEL da potência reativa ($Zq=1$, $Iq=0$, e $Pq=0$) é semelhante ao modelo Otimizado. Observe-se que, Zp , Ip , $Pp = 1$ e Zq , Iq , $Pq = 1$.

3.20 - Estudo dos Níveis de Campos Elétricos no Interior do Corpo Humano Para Atendimento das Restrições Básicas Sugeridas Pela Organização Mundial da Saúde em Subestações de 525 kV

RAFAEL MARTINS(1); JEFERSON SHIMOMURA(1); ROGERIO BORBA(1); JOSEF HOFFMANN NETO(1); CLAILTON L. DA SILVA(1); CRESENCIO S. S. SALAS(2); PATRICIO ENRIQUE MUNHOZ-ROJAS(2); - Copel GET(1);LACTEC(2);

A Organização Mundial da Saúde sugere dois tipos de limites de exposição a campos elétricos e magnéticos, denominados Níveis de Referência e Restrições Básicas. As empresas de energia no Brasil que ultrapassam os Níveis de Referência devem realizar um estudo no interior do corpo humano, que é mais complexo, para verificar o atendimento às Restrições Básicas. Esse trabalho apresenta uma metodologia para o estudo do nível de campo elétrico no interior do corpo humano, sem necessidade de ferramentas computacionais. A metodologia foi aplicada em uma subestação, na qual os Níveis de Referência foram ultrapassados, mas as Restrições Básicas foram atendidas.

Perguntas e respostas:

A) Em função dos resultados apresentados onde se verifica diferenças mais significativas comparando o modelo analítico simplificado e as simulações mais detalhadas, foi realizado alguma análise ou mesmo uma correlação entre possíveis medições diretas que podem ser realizado no ser humano, utilizando de multimetros digitais adaptados com placas paralelas (Medidores de campos, elétrico e magnético) em que se pode conectar as extremidades destas placas às regiões do corpo humano como, por exemplo uma mão e a outra ou conectando estas placas entre as espessuras da região do pescoço por exemplo ?

Com relação às medições diretas no corpo há uma incerteza muito grande pois, em relação às placas paralelas, a medição seria a integral do campo elétrico, ou seja, a tensão entre as placas, ou a corrente elétrica. Nesse caso a resistência seria a equivalente entre todos os tipos de tecidos (pele, sangue, sistema nervoso etc). Esse é o maior problema da medição, não é possível saber qual é o campo elétrico distribuído em cada tecido, e é esse dado que importa, pois campos induzidos no tecido nervoso podem ter efeitos diferentes de campos induzidos nos ossos. O que é possível fazer é impor placas paralelas em um tecido específico, por exemplo, um osso ou uma parte da pele, e daí obter a resistividade do mesmo, para que, após, aplicando as leis da física, seja calculado quais são os campos elétricos distribuídos nos diferentes tecidos, quando aplicado um campo externo a todo corpo (situação real). Foi essa a abordagem do software da simulação computacional, pois foram usados valores de resistividade obtidas através de medições desse tipo. Com relação às comparações entre as metodologias, como o foco do trabalho foi o atendimento à legislação, não foram realizadas análises de outras partes do corpo, foi analisado somente o caso onde o campo elétrico é mais intenso, pois é esse valor que poderia ultrapassar o limite imposto pela legislação.

B) Como é visto o referido estudo (opinião de estudiosos e/ou experimentos nesta área) sob a visão do estudo no nível do interior das células do organismo humano (nível intracelular) já que o nosso corpo é movido de reações intracelulares que geram campos elétricos intensos e/ou altas tensões a todo o momento?

O corpo humano evoluiu com a presença de campos elétricos, dentro e fora do mesmo. O que é novo para o corpo são as ondas de campo com frequências diferentes das encontradas na natureza, tal como 60 Hz. Com relação às interações com o corpo humano dessas ondas, há um grande número de estudos que já foram analisados pela Organização Mundial da Saúde - OMS. A conclusão, bem consolidada no meio científico, é que a interação em 60 Hz, dependendo da intensidade, pode causar efeitos biológicos, porém não há evidências que cause efeitos à saúde. Pode-se fazer uma analogia ao efeito da temperatura ambiente. Uma pessoa exposta a uma temperatura elevada sentirá efeitos biológicos (suor, fadiga, dor de cabeça etc), contudo, se voltar a uma temperatura natural os efeitos serão cessados com o tempo, e não haverá prejuízo à saúde. Os valores limites expostos no artigo determinados pela legislação brasileira, são baseados nesses estudos. O escopo do trabalho é mostrar uma metodologia para atendimento à legislação, contudo, maiores detalhes da origem dos valores que a legislação impõe, bem como os efeitos biológicos e efeitos à saúde, podem ser encontradas através dos trabalhos referenciado no artigo.

C) Nas simulações que podem ser consideradas detalhadas oriundas de softwares bem sofisticados em que já se tem mapeadas várias partes do corpo, são considerados a influência externa (campo elétrico gerado pela presença da Instalação elétrica) e os próprios níveis de campo elétrico gerado nas reações dentro das células?

O corpo humano evoluiu há centenas de milhares de anos com a presença de campos elétricos, dentro e fora do mesmo. Com isso, os campos naturais fazem parte do funcionamento do corpo, pois campos elétricos são oriundos de cargas elétricas, e cada átomo possui cargas positivas e negativas. O que é relativamente novo para o corpo são as ondas de campo elétrico, que variam com frequências diferentes das encontradas na natureza, tal como 60 Hz esse tipo de campo, chamado de radiação não ionizante (para 60 Hz) está presente no cotidiano há apenas cerca de 100 anos, e, portanto, é isso que pode ocasionar algum efeito no corpo, e por isso a Organização Mundial da Saúde impôs Limites para os mesmos.

3.21 - Aplicação de Função Base de Ordem Superior para Modelagem de Aterramentos Elétricos Utilizando o Método dos Momentos

RODOLFO ANTONIO RIBEIRO DE MOURA(1); MARCO AURÉLIO DE OLIVEIRA SCHROEDER(1); NATÁLIA RODRIGUES DE MELO(1); PATRÍCIA CAMPOS MARCELINO(1); - UFSJ(1);

A determinação do comportamento transitório do sistema de aterramento solicitado por descargas atmosféricas é de fundamental importância para a investigação dos efeitos causados por este fenômeno. A representação dos sistemas de aterramentos pode ser feita por meio de modelos matemáticos fisicamente consistentes. O tempo computacional gasto nas simulações pode ser elevado dependendo da configuração do aterramento e da extensão dos eletrodos. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de modelagem que permite reduzir o custo computacional das simulações sem comprometer a confiabilidade dos resultados obtidos.

Perguntas e respostas:

A) Os autores poderiam explicar o título referente à "Aplicação de Função Base de Ordem Superior"?

Quando o estudo foi inicializado, estávamos trabalhando com a ideia de usar função base de ordem superior do tipo "cosseno truncado". Contudo, durante o desenvolvimento do trabalho percebemos que a função pulso, de ordem zero (essa utilizada no trabalho final), apresentou bons resultados com um ótimo ganho computacional.

B) Os eletrodos simulados possuem comprimento igual ao comprimento efetivo? Se sim, as análises geradas foram calculadas com comprimentos diferentes para os casos apresentados na Figura 3 (parâmetros do solo constante) e figura 4 (parâmetros do solo variáveis na frequência) ou adotado um único valor?

Sim, os eletrodos simulados possuem comprimento igual ao efetivo para cada resistividade, forma de onda de corrente e modelo de solo: parâmetros variáveis ou constantes com a frequência - Conforme Tabela 1 do artigo. Portanto, os comprimentos efetivos utilizados nas Fig. 3 e 4 são diferentes.

C) Pensando no desempenho de linhas de transmissão, quais as implicações de considerar a impedância impulsiva no cálculo da elevação de potencial do sistema de aterramento?

Tem sido mostrado na literatura, que o uso da Impedância Impulsiva (ZP) no estudo de desempenho de linhas de transmissão tem uma resposta satisfatória em termos das sobretensões atmosféricas nas cadeias de isoladores. Assim, pode-se utilizar ZP como uma estimativa inicial da elevação de potencial do sistema de aterramento (GPR) pela simples multiplicação dele com a corrente injetada no aterramento, ou seja, $GPR(t) = ZP * I(t)$.

3.22 - Modelos de Inteligência Computacional aplicados à previsão de ocorrência de falta

CRISTINA YURIKA KONATU OBATA ADORNI(1); JORGE MOREIRA DE SOUZA(2); MARCOS VANINE PORTILHO DE NADER(3); Giovanni Moura de Holanda(4); - FITec(1);FITec(2);FITec(3);FITec(4);

O presente artigo faz a análise para a detecção de falhas incipientes. Utiliza os indicadores derivados de dados reais de oscilografia registrados durante o PED 370 (1). Utiliza a técnica de Análise dos Componentes Principais (Principal Components Analysis, PCA) para reduzir o número de componentes a serem analisados suprimindo aqueles altamente correlacionados que podem dificultar a análise.

Perguntas e respostas:

A) Quais as principais vantagens da técnica PCA em relação à outras técnicas usualmente empregadas para detecção de falhas ?

A técnica PCA (Principal Components Analysis) é usada para reduzir o número de atributos do problema que se quer estudar. No caso, a detecção de falhas incipientes usa as medidas coletadas pela oscilografia para gerar 140 indicadores como distorção individual, distorção total, harmônicos pares e ímpares, harmônicos múltiplos de 3 para corrente e tensão das fases A, B e C, Fator de Desequilíbrio de tensão e corrente, Transformada Wavelet fases A, B e C, Módulo e ângulo de Sequência Positiva, Negativa e Zero. É necessário analisar os 140 indicadores ou existe forte correlação entre alguns deles de modo que é possível fazer a análise com um número menor de indicadores? Vantagens: 1. A técnica PCA é mais usada que outras, por exemplo "Factor Analysis"; 2. A técnica PCA indica os componentes principais que precisam entrar na análise. Os exemplos do artigo mostram redução dos indicadores a serem analisados em cerca de 60%; 3. Normalização dos indicadores que podem variar numa escala de 1 a 10000. A média e desvio padrão foram normalizados (0,1).

B) Quais as dificuldades para implementação prática do método ?

Não há dificuldade na aplicação do método mesmo no caso de um grande volume de indicadores. A dificuldade nesse tipo de problema, detecção de falhas incipientes, está na análise e correlação dos dados visando evidenciar uma degradação de um ou mais indicadores (passos 4 e 5). Para preparação dos dados foi proposta uma metodologia em cinco passos: 1. Definir e Agrupar os indicadores gerados por técnicas matemáticas diferentes ; 2. Reduzir o número de indicadores (PCA); 3. Escolher a granularidade para análise: todos os registros ou divisão em subgrupos? Essa etapa foi feita por tentativa e erro em relação às medidas originais; 4. Definir os Índices de Degradação (ID): A detecção de falhas incipientes implica em se quantificar a progressiva degradação de um elemento de rede através de um ou mais índices; 5. Detectar situações de degradação: implica em determinar limites para a verificação do ID.

C) Considerando o potencial dessa nova abordagem, como os autores pretendem prosseguir a pesquisa com foco na validação do método ? Há outros exemplos da utilização desse método em outros países ?

A detecção de falhas incipientes é um tema atual pois permite quantificar a degradação do ativo de modo a agir antes da falta melhorando o planejamento da manutenção preditiva a qualidade de serviço e reduzindo as possibilidades de multas. O método proposto consiste em classificar os indicadores disponibilizados pelos IEDs, verificar as possíveis correlações entre eles usando a técnica PCA de modo a reduzir o volume de análise. Muito importante é a definição dos indicadores de degradação que mostram sua evolução no tempo e o momento provável da falha. Esse resultado vai orientar a manutenção de rede neural, com preparação dos dados usando PCA, para orientar o planejamento da manutenção preditiva. Baseado nos dados de falha dos equipamentos se define os prováveis candidatos à manutenção preditiva para os próximos meses (de 1 a 3). Baseado em dados reais fizemos com sucesso esse planejamento para um conjunto de trafos na rede de distribuição.

3.23 - UTILIZAÇÃO DE ANÉIS DE PERDAS EM REATORES PARA FILTRO DE HARMÔNICOS AMORTECIDOS

EVANDRO MARCOS VACILOTO(1); RICARDO CARVALHO CAMPOS(2); MARCO LEANDRO BONELLI(3); DIEGO RIBEIRO PIRES(4); ANTÔNIO CÉSAR COSTA FERREIRA ROSA(5); Wagner Melo Barbosa(6); - GE Grid(1);GE Grid(2);GE Grid(3);GE Grid(4);GE Grid(5);GE Grid(6);

Cada dia mais as fontes de energia renováveis estão ganhando espaço na matriz energética nacional, com destaque a energia eólica que já é responsável por mais de 7% de toda energia gerada no território nacional. Já a energia solar fotovoltaica encontra-se no início do desenvolvimento, com grandes empreendimentos ainda na fase de implementação e início da operação. Atualmente, grande parte dos estudos de acesso dos novos parques eólicos e fazendas solares solicitam a inserção de filtro de harmônicos para atender a norma técnica 009/2016 Rev.01 do ONS, sendo a grande maioria filtros de harmônicos amortecidos. Existem diversas topologias utilizadas para realização da filtragem de harmônicos do sistema, sendo basicamente: Filtro sintonizado, filtro amortecido e filtro tipo C. Atualmente muitos empreendimentos estão fazendo uso dos filtros de harmônicos amortecido devido à característica de filtragem deste tipo de equipamento, tendo como seus principais componentes: Reator, capacitor e resistor. O presente artigo tem como foco principal discutir a utilização de resistores de potência na topologia dos filtros amortecidos empregados atualmente nos parques eólicos e fazendas solares, visto que na maioria das vezes são resistores com elevada resistência e baixa corrente. Ao analisar economicamente a solução percebe-se que o custo do resistor representa entre vinte a trinta por cento o valor total do filtro, sem considerar as perdas permanentes que este componente irá resultar no sistema quando em operação. Outro ponto importante trata-se da confiabilidade deste componente se comparado com os demais equipamentos que compõe a solução de filtragem. Sendo assim, o trabalho apresenta uma nova solução para os filtros de harmônicos amortecidos, onde não se faz necessário a utilização de resistores de potência convencional. Conforme já mencionado anteriormente, o reator é um dos componentes deste tipo de filtro, portanto a solução alternativa consiste na utilização do campo magnético do indutor para induzir a corrente resistiva necessária, simulando assim a presença do resistor na topologia RLC. No artigo serão apresentados casos reais onde a nova tecnologia poderia ser implementada, resultando na redução de investimento e ganho de confiabilidade da solução, uma vez que o dispositivo proposto baseia-se nas correntes induzidas de Foucault em anéis de perdas que são posicionados sobre os reatores de núcleo de ar (Tipo construtivo comumente utilizado nas aplicações de filtro de harmônicos para níveis de tensão superiores a 13,8 kV). Trata-se de uma nova tecnologia já em desenvolvimento e aplicação real que resultará em ganhos técnicos e econômicos para os novos casos onde a utilização de filtro de harmônico amortecido for necessária.

Perguntas e respostas:

A) Quais as principais dificuldades para implementação prática dessa nova tecnologia ?

A maior dificuldade de implementação é atingir o fator de qualidade necessário em algumas aplicações

B) Há previsão para se instalar um protótipo para análise da operação em campo ?

Temos alguns casos em plena operação e atendendo as necessidades sistêmicas.

C) Qual a redução do custo quando comparado com a solução convencional ?/

Redução de aproximadamente 30% no valor do projeto, além da redução nos custos de implementação e manutenção, uma vez que o elemento resistivo é um equipamento crítico e com índices de falha elevado.

3.24 - DESAFIOS NA MODELAGEM NO ATP DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DA LT 230 kV CURITIBA CENTRO - UBERABA, CIRCUITO DUPLO SUBTERRÂNEO

GRACITA BATISTA ROSAS(1); PABLO MOURETTON MIGUEL(2); MARCELO MENDONÇA GONÇALVES(3); FABIO GABRIEL DE OLIVEIRA(4); Helio Pessoa de Oliveira Junior(5); VENILTON RODRIGUES DE OLIVEIRA(3); Miguel Armino Saldanha Mikilila(6); Jeferson Shimomura(7); - COPEL(1);TgDelta(2);JORDÃO ENG. (3);PRYSMIAN(4);ONS(5);COPEL(6);COPEL(7);

Neste informe técnico são apresentados os desafios encontrados na reprodução na ferramenta computacional ATP dos parâmetros elétricos da linha de transmissão 230 kV Curitiba Centro – Uberaba, circuito duplo subterrâneo determinados por formulação matemática. Entre estes desafios estão a correta modelagem de todas as camadas que compõem os cabos isolados e do sistema de aterramento, além da investigação dos modelos da rotina Cable Constants a fim de evitar oscilações numéricas no processo de convergência do ATP. As análises relacionadas a esses desafios foram realizadas na etapa de projeto básico deste novo ativo de transmissão do sistema interligado nacional.

Perguntas e respostas:

A) Os autores afirmam no início do trabalho que, para a configuração de cabos estudada, não foi possível executar as simulações utilizando modelos que consideram parâmetros dependentes da frequência devido a oscilações numéricas. Já no item 3.5, estes modelos são indicados para estudos de VFTO, apesar de ressaltarem um maior esforço computacional. Assim, os autores poderiam esclarecer qual o tipo de ajuste que tornaria possível a execução de simulações de VFTO com os modelos JMarti ou Semlyen, e quais dificuldades encontradas?

A dificuldade do processo de convergência com o modelo JMarti ocorreu em função do número de cabos modelados. A linha de transmissão em análise possui circuito duplo, logo foram modelados 6 cabos nesse modelo. A linha de transmissão em circuito simples (3 cabos) pode apresentar boa convergência na determinação dos parâmetros elétricos.

B) A opção pelo modelo Bergeron, com parâmetros constantes calculados na frequência de 5 kHz, em função do comportamento linear da impedância característica e da velocidade de propagação até 1 MHz, pode ser generalizada para outras configurações de linhas subterrâneas? Os autores têm experiência neste tipo de estudo?

Para cada estudo realizado deve-se avaliar o comportamento da impedância característica e da velocidade de propagação em função da frequência e então determinar a frequência que será utilizada.

C) Com relação aos possíveis modelos para representação da linha subterrânea, os autores avaliaram as possíveis diferenças nos resultados das simulações de transitórios eletromagnéticos?

No trabalho realizado foram avaliados os modelos de JMarti e Bergeron a fim de reproduzir os parâmetros elétricos da linha obtidos por formulação matemática. Como os resultados foram satisfatórios com o modelo Bergeron, não foram explorados outros modelos de representação da linha.

3.25 - Discussão de Técnicas de Melhoria do Desempenho de Linhas de Transmissão Frente às Descargas Atmosféricas

SANDRO DE CASTRO ASSIS(1); WALLACE DO COUTO BOAVENTURA(2); JOSE OSVALDO SALDANHA PAULINO(2); IGOR LUIZ DE MELLO MOTTA(3); WESLEY EDNEY DE SOUSA(4); ALEXANDRE PIANTINI(5); ADRIANO A. DELLALLIBERA(6); ELILSON EUSTÁQUIO RIBEIRO(7); EDGAR JOSÉ OLIVEIRA RIBEIRO(7); JORGE LUIZ DE FRANCO(8); MURILO MAGALHÃES NOGUEIRA(9); - Cemig D(1);UFMG(2);Cemig D(3);Cemig D(4);USP(5);BALESTRO(6);NSA(7);TIME ENERGY IC(8);CYMI(9);

Para interligar a geração de energia elétrica com os sistemas de distribuição e os consumidores necessita-se de extensas linhas de transmissão. Essas linhas estão sujeitas a transitórios de diversas naturezas, como surtos gerados por manobras no sistema elétrico ou por descargas atmosféricas. Segundo estatísticas nacionais e internacionais, aproximadamente 65% dos desligamentos não programados são oriundos da interação entre descargas atmosféricas e linhas de transmissão. Neste informe técnico são discutidas algumas das técnicas de melhoria de desempenho frente às descargas atmosféricas, buscando quantificar os custos para adequações de linhas que possuem um desempenho insatisfatório, estabelecendo comparativos entre os pontos positivos e negativos para o projeto da linha dentre as alternativas avaliadas.

Perguntas e respostas:

A) Considerando as vantagens e desvantagens de cada solução apresentada, na experiência dos autores qual a seria mais recomendável na maioria dos casos ?

B) Tendo em vista os bons resultados obtidos com para-raios de LT, há alguma estatística recente de desempenho no campo desses para-raios para que seja considerada na análise ?

C) Os autores pretendem analisar linhas de tensões mais elevadas por exemplo 345 kV?

3.26 - Comportamento de linhas de transmissão parcialmente protegidas por dispositivos para-raios frente a descargas atmosféricas

MATHEUS HENRIQUE ROSA DUARTE(1); RAFAEL ALÍPIO(2); SANDRO DE CASTRO ASSIS(3); - CEFET MG(1); CEFET MG(2); Cemig D(3);

Este trabalho aborda a influência da instalação de para-raios em apenas algumas fases da torre na proteção de linhas de transmissão frente descargas atmosféricas. Esse impacto é quantificado a partir do levantamento de probabilidades de desligamento por backflashover para diversas condições de projeto, variando o sistema de aterramento, número de para-raios instalados na torre, e número de circuitos da linha. A instalação de para-raios em apenas algumas fases aprimora consideravelmente o desempenho da linha frente descargas atmosféricas. Levantou-se ainda a influência do sistema de aterramento, além das diferenças de linhas de circuitos simples e duplo no desempenho frente descargas atmosféricas.

Perguntas e respostas:

A) Os autores poderiam comentar como o efeito disruptivo crítico (DEC) do isolador foi considerado nas simulações com o ATP?

O efeito disruptivo crítico não foi diretamente considerado nas simulações do ATP. O efeito disruptivo crítico do isolador é calculado com base em suas características construtivas e resultados de ensaios. As simulações no ATP retornam as curvas de sobretensão nos terminais dos isoladores, por meio das quais é levantado o efeito disruptivo associado à incidência da descarga atmosférica, o qual é comparado com o efeito disruptivo crítico previamente calculado. A metodologia de cálculo de ambos os efeitos disruptivos (crítico e associado à descarga) constam no livro "Insulation Coordination for Power Systems", de Andrew R. Hileman.

B) No trabalho, a torre foi modelada através de segmentos de linha de transmissão. Foi realizada comparação de resultados com modelos mais simples da torre, por exemplo, Zsurto típico?

Essa comparação não foi objeto deste trabalho. Não obstante, ressalta-se que o modelo utilizado nas simulações se mostra adequado para esta natureza de evento (comportamento de condutores verticais frente descargas atmosféricas), validado por meio de comparações de simulações utilizando-se esta representação com medições reais. A descrição deste modelo consta no artigo técnico "Revision, Extension, and Validation of Jordans Formula to Calculate the Surge Impedance of Vertical Conductors", de De Conti, Visacro, Soares e Schroeder. A utilização de linhas de transmissão para representação de torres de transmissão permite que os efeitos de propagação da onda de tensão ao longo da torre sejam considerados. A divisão em segmentos de linha é justificada pelo fato de cada parcela da torre de transmissão possuir determinadas características geométricas, que, por sua vez, levam a valores distintos de impedância de surto.

C) Foram avaliadas as energias dos para-raios de linha para os casos mais críticos?

Esta avaliação não foi realizada neste trabalho. Entretanto, consta em outros trabalhos realizados. Os resultados de energia nos para-raios quando da incidência de descargas não excedem a capacidade de absorção de energia do equipamento. Para todos os casos simulados a energia absorvida foi inferior a 1 kV/kJ de MCOV. Entretanto, diferentes configurações de proteção da linha por para-raios, sistemas de aterramento, bem como a amplitude de descargas incidentes impactam de forma considerável na energia absorvida pelos para-raios, o que, por sua vez, influencia nas características de envelhecimento e confiabilidade do dispositivo ao longo de sua operação. Como referências de análises destacam-se a dissertação de mestrado "Impacto da Representação de Sistemas de Aterramento no Desempenho de Para-raios de linhas de Transmissão", de Matheus Duarte, o artigo "Influence of Grounding Representation on the Lightning Performance of Line Surge Arresters - Part II: Impact on the Energy Dissipation", de Matheus Duarte, Rafael Alípio e Antônio C. S. de Lima, entre outros.

3.27 - A IMPORTÂNCIA ATUAL DE ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS PARA DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES CONTRA SOBRETENSÕES E AS APLICAÇÕES RECENTES COM A INSTALAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTO

NELSON CLODOALDO DE JESUS(1); JOÃO ROBERTO COGO(2); LUIZ MARLUS DUARTE(3); LUIS FERNANDO RIBEIRO FERREIRA(4); ÉVERSON JÚNIOR MENDONÇA(5); Leandro Martins Fernandes(6); - GSI(1); GSI(2); GSI(3); GSI(4); GSI(5); GSI(6);

Este informe técnico tem como objetivo apresentar uma reflexão quanto à aplicação de supressores de surto como proteção de transformadores frente a eventos transitórios envolvendo manobras de disjuntores. Após uma série de queimas de transformadores no Brasil e identificação de causa sistêmica, foram estabelecidos critérios de projeto de forma a mitigar tais perturbações, sendo o tema da interação transitória, associada às manobras com transformadores, altamente relevante no contexto atual. Serão apresentados os conceitos relacionados às sobretensões de manobras durante a operação de disjuntores, resultados de medições, formas de mitigação, simulações e tendências de aplicação de proteções contra sobretensões transitórias.

Perguntas e respostas:

A) Para as simulações das reignições, faz-se necessários parâmetros específicos dos disjuntores à vácuo muitas vezes de difícil obtenção. Como esse parâmetros foram obtidos para a modelagem do fenômeno?

Os parâmetros específicos utilizados para a representação de simulações envolvendo fenômenos transitórios de pré-ignições ou reignições de disjuntores a vácuo realmente são de difícil obtenção, sendo normalmente utilizados valores típicos, baseados em algumas referências internacionais para a inclusão das capacidades dielétricas e de interrupção em altas frequências, como no caso das simulações apresentadas neste informe técnico. Destaca-se que, somente em um único estudo de caso, alguns dados foram devidamente informados pelo fabricante, incluindo os valores relativos a corrente de corte, taxa de elevação da rigidez dielétrica (kV/μs) e da tensão de restabelecimento transitória (TRT) antes do zero da corrente (kV). Mesmo neste caso específico, faltaram os dados relacionados à taxa de elevação da capacidade de extinção em alta frequência do disjuntor a vácuo (kVs2) e da capacidade de extinção antes da separação dos contatos do disjuntor (kVs). Devido à pouca informação sobre tais parâmetros e às enormes dificuldades em se obter tais características, cabe destacar o resultado apresentado na Figura 4 do Informe Técnico (Medição de Sobretensões Devido a Ocorrência de Múltiplas Reignições), cujo resultado pode ser utilizado como referência adicional para este tipo de análise.

B) Como foram modelados os transformadores nos estudos? Modelo para altas frequências?

Neste caso específico, os transformadores não foram modelados especificamente para altas frequências, pois o referido modelo, embora solicitado, não foi apresentado pelo fabricante, impossibilitando a substituição do modelo clássico por outro modelo baseado nas características detalhadas de formação do sistema de isolamento do transformador (matriz primitiva). Portanto, a partir das informações disponíveis, sem o detalhamento para a representação do modelo para altas frequências, o referido transformador foi modelado considerando somente as capacitâncias parasitas dos enrolamentos (primário e secundário) e entre os enrolamentos, sendo esses os únicos valores informados pelo fabricante do transformador para este estudo. Em alguns casos, solicita-se também a realização de ensaios das respostas em frequência dos transformadores como fonte adicional e informação complementar a ser considerada na análise do sistema. A difícil representação e obtenção de dados relacionados à modelagem dos componentes do sistema para manobras em altas frequências, como os devidos parâmetros a serem associados à modelagem dos disjuntores a vácuo, transformadores e de cabos isolados, remete a necessidade de se obter informações e pesquisas dedicadas ao referido tema. Destaca-se ainda que, devido aos casos históricos de falhas sistêmicas de transformadores verificadas na prática, no caso de projetos para o setor industrial brasileiro, especialmente nos ramos de papel e celulose, este tema já é considerado como um critério de projeto bem definido, sendo que tais estudos fazem parte dos pré-requisitos e das solicitações de engenharia, demonstrando a sua importância no cenário atual, assim como destacado neste informe técnico, ou seja, é evidente a importância atual deste tipo de estudo, em função dos riscos operacionais e da complexidade envolvida com esse tipo de avaliação, visando à adequada proteção de transformadores frente aos eventos transitórios associados a manobras de disjuntores.

C) Há experiência de emprego de supressores de surto em tensões mais elevadas?

Os supressores de surto em conjunto com varistores de Óxido de Zinco (ZnO) são amplamente aplicados desde sistemas de baixa tensão (BT), com tensões menores que 1000 V, conforme estabelece a NR-10, até normalmente, sistemas com tensões de operação de 4,16; 13,8; 33 e 34,5 kV, objetivando principalmente à proteção contra surtos de tensão e elevadas taxas de crescimento das tensões (dv/dt), para motores de grande porte, transformadores utilizados em formas a arco e também para transformadores de distribuição, principalmente nos casos de equipamentos que utilizam meio isolante sólido (a seco). Ademais, reafirma-se que não se tem conhecimento de aplicações específicas de supressores de surto para equipamentos utilizados em sistemas de alta tensão, sendo observado que os equipamentos de proteção baseados em supressores de surto do tipo (RC) são especificados e aplicáveis para sistemas com valores máximos de tensões de até 40 [kV].

3.28 - Coordenação de isolamento integrada ao dimensionamento mecânico e custo de estruturas de linhas de transmissão

ARTHUR LINHARES ESTEVES DOS REIS(1); JOAO CLAVIO SALARI FILHO(1); LUIZ FELIPPE ESTRELLA JUNIOR(1); - CEPEL(1);

Apresenta-se neste informe um processo computacional elaborado para a integração do estudo da coordenação de isolamento ao dimensionamento das torres de linhas de transmissão aéreas e ao cálculo do custo de instalação e das perdas elétricas da linha. Este processo é sistemático, convergente, permite análises técnico-econômicas mais abrangentes de linhas de transmissão, além de considerar os limites térmicos e do campo eletromagnético junto à superfície dos condutores e os limites dos campos eletromagnético, ruído audível e radiointerferência próximos da superfície do solo.

Perguntas e respostas:

A) O esboço das dimensões básicas das torres gerados pelo CISOL tem como base um banco de dados ou gerados de forma livre?

O CISOL conta com um banco de dados interno formado por torres típicas, tais como as apresentadas no artigo (p.ex. torre vertical, raquete, cross-ropo, Danúbio), existindo a possibilidade de se inserir novas torres de acordo com o estado da arte. Essas torres no banco não têm dimensões especificadas. O que o programa calcula são as dimensões básicas da torre na configuração selecionada, isto é, os comprimentos da janela de torre, das mísulas, cadeias de isoladores; devido aos espaçamentos mínimos fase-terra e fase-fase calculados a partir dos dados de entrada informados pelo usuário, referentes às sobretensões, características ambientais, dos feixes de condutores, entre outros.

B) A geometria proposta é referencial ou possui projeto executivo desenvolvido pelo software?

O foco do sistema computacional Elektra é no projeto básico de linhas de transmissão, para efeito de comparação entre diferentes alternativas e na busca por uma solução otimizada para o sistema. É normalmente incluído em uma etapa de planejamento, ou seja, o resultado atua como um referencial para o projeto final. O projeto executivo da LT envolve demais cálculos mais específicos, que leva em consideração particularidades da LT sob análise.

C) Dentro dos resultados apresentados na tabela 1, qual a influência do custo das estruturas na solução geral?

Torres de transmissão estaiadas, principalmente do tipo cross-ropo como é o caso-base analisado, geralmente apresentam um custo de instalação menor do que estruturas autoportantes, devido à menor quantidade de material estrutural necessário. Porém, em algumas situações, principalmente em terrenos acidentados, elas não se tornam mais possíveis de serem utilizadas, por limitações mecânicas. Então as torres autoportantes passam a ser necessárias. A definição de qual torre será utilizada também influenciará

em todos os demais aspectos da LT, como desempenho elétrico, largura de faixa, quantidade de isoladores, aspectos na manutenção, possibilidade de futura recapacitação, entre outros. Portanto, deve ser sempre realizada uma análise mais abrangente para a comparação entre diferentes estruturas. Feitas essas considerações, o custo de instalação em relação ao caso base, pode variar, em média entre 10% e 25%, conforme a configuração autoportante utilizada.

Comentário: Equação 1 não apresenta a definição de algumas variáveis.

3.29 - Avaliação do efeito da distribuição de incidência de descargas atmosféricas ao longo do vão no desempenho de linhas de transmissão: análise crítica da forma tradicional de cômputo pelo fator 0,6

FERNANDO HENRIQUE SILVEIRA(1); SILVERIO VISACRO(1); RAFAEL MAIA GOMES(1); - UFMG(1);

Este trabalho apresenta uma investigação dedicada ao efeito da distribuição de incidência de descargas ao longo do vão no cálculo da taxa de desligamentos por backflashover de linhas de transmissão e a análise crítica da forma tradicional de se considerar tal efeito por meio do fator 0,6. As análises baseadas em simulações computacionais considerando metodologia avançada de cálculo de desempenho foram desenvolvidas para uma configuração real de linha de transmissão de nível de tensão de 138 kV e a consideração de forma de onda de corrente representativa de primeira descarga. A distribuição de incidência de descargas ao longo do vão foi estimada segundo abordagem por método de Monte Carlo. Os resultados obtidos demonstram que a adoção do fator 0,6 é muito favorável em termos do desempenho da linha, subestimando as taxas de desligamentos calculadas por abordagens de avaliação mais elaboradas. Fatores de vão de 30 a 40% superiores são obtidos, impactando fortemente a taxa de desligamentos estimada em linhas.

Perguntas e respostas:

A) Os autores compararam os resultados obtidos com o programa IEEE Flash? Se sim, qual o resultado obtido?

Não, os autores não compararam os resultados obtidos com o programa IEEE Flash. Em trabalho publicado pelos autores em edições anteriores do SNPTTE, foi mostrado que a aplicação da metodologia IEEE-Flash (que só permite o uso de forma de onda de corrente com crescimento linear da frente de onda) resulta em taxas de desligamentos inferiores às obtidas por metodologias de cálculo mais elaboradas (da ordem de 30% em certas condições).

B) A suportabilidade da cadeia é dependente da forma de onda. Como foi ajustado a suportabilidade no método DE?

O método DE aplicado considera os parâmetros sugeridos por Hileman, tradicionalmente empregados na literatura em estudos de desempenho de linhas de transmissão para ondas não padronizadas. Neste método, a suportabilidade é ajustada de acordo com o valor do CFO da cadeia de isoladores e um conjunto de constantes obtidas em laboratório.

C) Os autores possuem diversos trabalhos considerando os dados das descargas medidas no Morro do Cachimbo e neste IT utilizaram dados do Monte San Salvatore. Qual a expectativa dos resultados considerando ondas de descargas tipicamente observadas no Brasil?

A adoção dos parâmetros do Morro do Cachimbo resultaria, de forma geral, em sobretensões mais elevadas, da ordem de 40% superiores, mas não alteraria a qualidade dos valores dos fatores de vão obtidos.

3.30 - Uma experiência no uso de "underbuilt wires" e aplicação conjugada de dispositivos para-raios e impedâncias limites de pé-de-torre para melhoria de desempenho frente a descarga atmosféricas de linhas de transmissão instaladas em condições inóspitas

SILVERIO VISACRO(1); FERNANDO HENRIQUE SILVEIRA(2); GABRIEL DIAS POMAR(3); MARIA HELENA MURTA VALE(4); - UFMG(1); UFMG(2); FConsult(3); UFMG(4);

O trabalho descreve as avaliações relativas à instalação de cabos underbuilt na linha de transmissão de 230 kV Jauru-Vilhena, localizada em região de condições extremas quanto à incidência de descargas e aos valores elevadíssimos de resistividade do solo. Esta prática é adotada como medida de impacto para melhoria do desempenho da linha frente a descargas atmosféricas. As avaliações consideraram as condições combinadas de instalação de cabos underbuilt, de atuação no aterramento das torres e de colocação de dispositivos para-raios ao longo da linha. Demonstrou-se a alta qualidade da solução adotada, a partir da determinação dos limites de eficiência de aplicação das alternativas de melhoria, notadamente de uso de 2 e 4 dispositivos para-raios por torre.

Perguntas e respostas:

A) Houve análise e limitação mecânica para instalar os cabos underbuilt?

B) Foi avaliado instalar mais supressores de surto nas fases desprotegidas para adequar o desempenho da linha?

C) A melhoria de desempenho esperado com a instalação conjunta dos cabos underbuilt e dispositivos para-raios adequariam a performance da LT aos 2 desli/100 km/ano? Já existem dados de desempenho obtidos após a instalação?

3.31 - Avaliação do desempenho frente a descargas atmosféricas de linhas aéreas de 69 e 138 kV construídas em solos de alta resistividade e considerando as tensões induzidas

WALLACE DO COUTO BOAVENTURA(1); JOSÉ OSVALDO SALDANHA PAULINO(2); CELIO FONSECA BARBOSA(3); IVAN JOSÉ DA SILVA LOPES(4); MAURISSONE FERREIRA GUIMARÃES(5); EDUARDO NOHME CARDOSO(6); - UFMG(1); UFMG(2); UFMG(3); UFMG(4); Cemig D(5); UFMG(6);

O artigo analisa o desempenho de linhas aéreas de transmissão de 69 e 138 kV frente a descargas atmosféricas, incluindo as tensões induzidas por descargas indiretas. A análise considera solos de elevado valor de resistividade e mostra que o número de interrupções devido às tensões induzidas é significativo para linhas de 69 kV e 138 kV, desde que a resistividade do solo seja superior a 1000 Ω -m e 5000 Ω -m, respectivamente. O artigo também mostra que desempenho calculado apresenta boa correlação com o desempenho observado em campo.

Perguntas e respostas:

A) No caso de tensões induzidas é determinado uma corrente crítica capaz de gerar desligamentos, similar ao feito pelo programa IEEE Flash em descargas diretas? Considera-se a probabilidade da corrente ser superior à corrente crítica?

Não, o valor das tensões induzidas depende não só do valor da corrente de descarga, mas também da distância entre o ponto de incidência da descarga e a linha. Como não se tem controle do ponto de incidência das descargas, não é possível determinar um valor de corrente crítica similar ao que é feito no caso das descargas diretas, pois essas últimas sempre incidem na linha. Para o cálculo das tensões induzidas, é utilizado o Método de Monte Carlo, onde a distância entre a descarga e a linha, assim como os parâmetros da descarga, são determinados com base nas respectivas distribuições de probabilidades.

B) Os resultados apresentados sugere que, para linhas de 69 kV em regiões de elevada resistividade do solo, não compensa investir em sistemas de aterramentos de baixos valores ôhmicos, pensando apenas no desempenho do sistema, correto?

Sim, como pode ser visto na Fig. 13, para linhas de 69 kV e solos com resistividade entre 2,4 a 5 k Ω .m, o desempenho da linha é pouco sensível ao valor da resistência de aterramento. Para solos de resistividade acima de 5 k Ω .m, observa-se mesmo uma sensível melhoria no desempenho da linha com o aumento da resistência de aterramento. Observa-se também nesta figura que baixos valores de resistência de aterramento podem contribuir para a melhoria do desempenho da linha, caso estes valores sejam inferiores a cerca de 25 Ω . No entanto, dada a dificuldade em obter baixos valores de resistência de aterramento em solos de alta resistividade, outras técnicas de proteção (e.g., instalação de para-raios de linha) se mostram mais indicadas nesta situação.

C) Comparou a resistência média das linhas apresentadas na Tabela 3 com as estimadas? Outras LDs de 69 kV foram comparadas?

Infelizmente, os valores medidos das resistências de aterramento das linhas da Tabela 3 não estavam disponíveis na fonte consultada (15). Dessa forma, trabalhamos com valores estimados com base na configuração típica de malhas de aterramento utilizadas nessas linhas. Da mesma forma, a referência (15) fornece dados de apenas uma linha de 69 kV (Peti-Sabará), os quais são reproduzidos na Tabela 3. Atualmente os autores estão levantando dados de desempenho de outras linhas, visando complementar este estudo.

3.32 - Metodologia simplificada para a caracterização da resposta transitória e de regime permanente de arranjos de aterramento

CARLOS ERMÍDIO FERREIRA CAETANO(1); JOSÉ OSVALDO SALDANHA PAULINO(1); WALLACE COUTO BOAVENTURA(1); IVAN JOSÉ DA SILVA LOPES(1); MAURISSONE FERREIRA GUIMARÃES(2); CELIO FONSECA BARBOSA(1); EDUARDO NOHME CARDOSO(1); - UFMG(1); Cemig D(2);

Neste artigo é apresentada uma nova metodologia para a caracterização de arranjos de aterramento no domínio do tempo. É demonstrado que, a partir do conhecimento da resposta da malha a uma onda de corrente rápida, é possível determinar o seu comportamento para qualquer forma de onda, inclusive para corrente contínua, obtendo com precisão a máxima elevação de potencial (GPR) e a resistência em corrente contínua da malha. Este artigo apresenta, como validação, os resultados de medições realizadas em uma malha de aterramento experimental, constituída de um cabo contrapeso, com aplicação de uma onda de corrente rápida e, também, com uma corrente em que a forma de onda se assemelha à de uma descarga atmosférica principal. A metodologia proposta é relativamente simples: conhecida a resposta da malha através da medição com a injeção de uma onda de corrente rápida, a resposta a qualquer outra forma de onda pode ser determinada através de uma operação simples de convolução. Além disso, como a resposta da malha é obtida através de medição, efeitos como a dependência dos parâmetros do solo com a frequência, por exemplo, são naturalmente considerados pelo método.

Perguntas e respostas:

A) Como foi determinado a resistividade aparente diária de 100 ohms.m na área do campo de testes? Este parâmetro interfere na aplicação da metodologia?

A resistividade aparente foi determinada a partir da medição da resistência de corrente contínua da malha de aterramento, utilizando o método da queda de potencial, e o prévio conhecimento da geometria da malha de aterramento sob medição. A malha em questão foi dimensionada para ser uma malha de testes de aterramento, pertencente ao Laboratório de Extra Alta Tensão da UFMG, o que nos permitiu conhecer todos os parâmetros geométricos da mesma. Uma vez que a profundidade, o comprimento do eletrodo, as dimensões do eletrodo, e o seu valor de resistência em corrente contínua são conhecidos, o valor da resistividade aparente pôde ser extraído com o uso de uma das fórmulas para o cálculo da resistência do arranjo. Neste caso, foi utilizada a formulação proposta por Sunde (descrita na referência [10] do artigo). Esse parâmetro não interfere na aplicação da metodologia e foi fornecido no artigo apenas para melhor descrever o campo de testes.

B) Quais as limitações / dificuldades para aplicação prática da metodologia apresentada pelas empresas e concessionárias?

A metodologia necessita do uso de instrumentos capazes de medir fenômenos transitórios, como por exemplo osciloscópios e sondas de tensão e/ou corrente com banda de frequência adequadas. Além disso, para a correta aplicação da técnica é necessário o prévio treinamento das equipes de medição, uma vez que ela está baseada em sinais transitórios bastante distintos dos usualmente aplicados na medição de resistência de aterramento.

C) Qual o número mínimo e máximo de pólos e zeros devem ser adotados para uma boa sintetização da função de transferência? Este número é dependente da frequência do sinal medido?

A técnica ainda está sendo testada para arranjos de aterramentos diversos para que seja possível propor um critério que delimite os parâmetros utilizados na síntese, como o número de pólos por exemplo. Entretanto, ainda não foi proposto um critério limite para o número de pólos e zeros que garantam a síntese adequada do sistema. A necessidade desse critério, porém, não é um fator limitante para a aplicação da técnica apresentada, uma vez que a síntese do sistema pode ser feita de forma recursiva e as curvas de entrada (já medidas) podem ser utilizadas como critério de parada, através da minimização da diferença entre a curva de saída do sistema sintetizado e uma (ou mais) das curvas medidas, alterando o número de pólos e zeros que leve à redução da diferença entre as curvas. O número de pólos e zeros necessários está associado a dinâmica do aterramento. Se o aumento da frequência do sinal de excitação resultar em uma resposta dinâmica mais complexa, o aumento da frequência poderá resultar em um aumento do número de pólos. No entanto, para efeitos práticos, as curvas de corrente de interesse (que possuem frequência representativa menor que as curvas rápidas usadas na medição e, portanto, na síntese) podem, muitas vezes, não se beneficiar de uma modelagem mais criteriosa provocada pelo aumento do número de pólos. Dito com outras palavras, as curvas de corrente de descargas atmosféricas típicas não excitarão a dinâmica modelada para frequências mais elevadas, funcionando, nesse caso, como uma espécie de filtro passa-baixa no processo de convolução com a resposta ao impulso modelada.

3.33 - Metodologia para estudo de sobretensões decorrente de manobras de chaves seccionadoras em equipamentos de SEs isoladas a ar e/ou gás

GUILHERME SARCINELLI LUZ(1); ARJAN CARVALHO VINHAES(2); - ONS(1);ONS(2);

A ocorrência de falhas de equipamentos, sem a identificação adequada de sua causa, vem levantando a suspeita de que a manobra das chaves seccionadoras possa ser uma das principais contribuições, conquanto não necessariamente a única. As máximas tensões geradas por essas manobras não apresentam valores aparentemente relevantes pelo fato de estarem muito abaixo dos níveis de atuação dos para-raios. Por este motivo, podem parecer não oferecerem danos significativos ao isolamento dos equipamentos. Entretanto, uma análise mais precisa mostra que o efeito de sua frente de onda e do número de ocorrências precisa ser melhor investigado e, portanto, considerado na especificação dos novos equipamentos. A evolução das tecnologias que modelam e, consequentemente, desenvolvem o isolamento dos diversos equipamentos que fazem parte de uma subestação não foi devidamente acompanhada por pesquisas mais detalhadas do efeito dos transitórios rápidos sobre o dielétrico presente no isolamento desses equipamentos. Por esta razão as normas que determinam os critérios para a especificação de um equipamento, não sofreram as devidas revisões de modo a considerar o número de ocorrências destes transitórios. Embora este não seja um tema novo, tendo em vista os diversos artigos já apresentados no Brasil e no mundo, particularmente no que se referem às GIS, este artigo se propõe a: descrever o cálculo que permite a identificação da forma de onda das tensões que aparecem nos terminais de um equipamento decorrentes da manobra de chaves seccionadoras; apresentar alguns detalhes que envolvem as simulações deste tipo de transitório e indicar alguns aspectos relevantes envolvidos nestes fenômenos.

Perguntas e respostas:

A) A motivação apresentada para o trabalho foram as ocorrências das falhas dos equipamentos que não aparentavam identificação adequada. Comente o impacto nas simulações das ocorrências considerando as simplificações analisadas, como não representação de alguns equipamentos (TC, TPC, para-raios e transformadores).

As simulações sem considerar a representação de nenhum equipamento tiveram o objetivo didático de apresentar o perfil das ondas de tensão transitória decorrente de uma manobra de chave seccionadora considerando-se a variação de alguns elementos na simulação. A presença de cada novo equipamento introduz um efeito capacitivo no trajeto da onda que alcança o equipamento em análise. Este, por sua vez, deve ser modelado com mais detalhe, uma vez que a simulação visa a análise do efeito sobre ele.

B) Os autores apresentaram estudos de casos com linhas utilizando modelo de Bergeron para frequência de 1 MHz e posteriormente 500 kHz. Qual a melhor faixa de frequência a ser adotada? Como a definição da frequência adotada foi realizada?

A simulação de manobra de chave seccionadora indica a formação de ondas com frequências acima de 100kHz. O modelo J.Marti é, à princípio, o mais apropriado por considerar do efeito da resistência variável com a frequência que, pelo efeito skin, acaba por produzir um pequeno amortecimento na onda. Os valores de 500MHz e 1MHz foram utilizados com o modelo Bergeron, tendo as resistências omitidas, apenas para demonstrar que este amortecimento apresenta um impacto pouco significativo se comparado com o modelo J.Marti. Portanto, valores em torno de 500MHz parecem ser satisfatórios.

C) A metodologia do estudo de sobretensões de manobra por chaves seccionadoras apresentada justifica as ocorrências das falhas dos equipamentos que não aparentavam identificação adequada?

A proposta da metodologia é apenas de viabilizar uma estratégia de simulação (que devem ser somada com as experiências de outros autores) no intuito de fornecer recursos de análise, onde os valores máximos de tensão, decorrente das manobras de chaves seccionadoras, nos terminais do equipamento em análise possam sejam identificados. Estes valores máximos por si mesmo não parecem justificar as ocorrências de falhas tendo em vista estarem relativamente abaixo dos valores especificados de surto atmosférico cuja onda mais se assemelha a deste tipo de transitório. Entretanto, é fato que o número de ocorrências deste tipo de surtos em uma única manobra é bastante significativo. Considerando-se ainda que o mesmo deverá estar exposto, a diversas manobras ao longo de sua vida útil, este fenômeno não deve ser considerado no projeto destes equipamentos. Isso talvez ainda não tenha ficado suficientemente claro para os especialistas envolvidos tanto no projeto como também na especificação.

3.34 - NOVA METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

OSMAR PINTO JUNIOR(1); DIMAS APARECIDO PEREIRA(2); VÍTOR GARDIMAN(3); EDEN LUIZ CARVALHO JUNIOR(2); - INPE(1);EATE(2);Storm(3);

Diversos estudos sobre o impacto das descargas atmosféricas no desempenho de sistemas elétricos, em particular, no desempenho de linhas de transmissão, têm sido feitos, abordando diferentes aspectos do problema. Neste trabalho é descrito o desenvolvimento e aplicação de uma nova metodologia para análise do desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas, que tem como finalidade a avaliação do desempenho do sistema de aterramento de uma linha de transmissão frente a descargas atmosféricas, utilizando como princípio determinístico a frequência de ocorrência e intensidade das descargas e as condições ambientais. A metodologia tem utiliza dados de descargas atmosféricas obtidos pela rede BrasilDAT Dataset, uma rede que integra dados de outras redes e fornece uma base de dados de descargas atmosféricas mais precisa. A BrasilDAT Dataset integra e consolida dados de três diferentes redes de detecção de descargas atmosféricas: Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT), Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT) e Rede Mundial (World Wide Lightning Location Network – WWLLN), totalizando mais de 110 sensores instalados no país em todas as regiões. A integração dos dados das três redes a partir de critérios específicos permite obter-se dados mais precisos sobre a ocorrência das descargas atmosféricas, visto que nenhuma rede detecta todas as descargas que ocorrem. A metodologia desenvolvida neste trabalho consiste numa análise, para um determinado período, das ocorrências de desligamentos de uma linha de transmissão buscando verificar uma possível relação causal entre os desligamentos e a ocorrência de descargas atmosféricas. A relação causal é feita considerando alguns critérios: (1) são consideradas as descargas que possam ter atingido as linhas, levando-se em conta uma dada incerteza de localização das mesmas; (2) são consideradas as descargas que tenham ocorrido num intervalo de +/- um minuto do horário do desligamento; (3) são consideradas as descargas que ocorreram numa distância máxima de 20 km da localização dos desligamentos obtidas pelos algoritmos dos relés de proteção/localizadores de faltas ou ferramentas específicas de localização de faltas. Determinadas as descargas, avalia-se o desempenho do sistema de aterramento considerando os diferentes números de descargas e os valores de pico de corrente das descargas. Dados de precipitação e de queimadas são avaliados, visto que os mesmos podem influenciar na degradação da isolamento das cadeias de isoladores. A metodologia foi aplicada para três linhas de transmissão pertencentes à Empresa Brasileira de Transmissão de Energia (EBTE) no estado do Mato Grosso durante o período de 2012 a 2017: Brasnorte - Juba (C1 e C2) – BN-JB, Brasnorte – Juína (C1 e C2) – BN-JI e Brasnorte – Parecis (C1 e C2) – BN-PI. Durante este período foram observados 108 desligamentos nas linhas BN-JB, BN-JI e BN-PI, dos quais 87 (81%) foram associados com descargas atmosféricas e 5 (5%) com queimadas, sendo os demais 14% devido a outras causas não determinadas. Os resultados obtidos permitiram determinar os locais onde uma avaliação das condições de aterramento das linhas deve ser priorizada, o que permite melhorar o desempenho das linhas frente às descargas atmosféricas com um menor custo associado.

Perguntas e respostas:

A) A metodologia apresentada faz uso intenso dos dados da BrasilDAT Dataset. Estes dados estão disponíveis para acesso geral?

Estes dados são frutos de acordos entre instituições públicas e privadas e estão sujeitos a custo para aquisição.

B) Resultados de desempenho das LTs considerando a distribuição das resistências de aterramento são similares ao desempenho obtido ao longo das LTs? Esta avaliação foi realizada?

Esta avaliação foi feita sim e a conclusão é que nem sempre os trechos de menor medição de resistência de aterramento são aqueles que apresentaram o melhor desempenho da LT frente as descargas atmosféricas. Foi inclusive este o principal fator que nos motivou na elaboração deste trabalho.

C) A adequação da resistência de aterramento na região do ponto B da figura 10 conduziria ao desempenho das LTs dentro do desejado? O projeto das LTs indicavam resistência da aterramento elevado para a região do ponto B?

A região do Ponto B próximo a SE Parecis possui um solo arenoso, de alta resistividade. Acreditamos que para melhorar o desempenho LT serão necessárias medidas complementares a serem estudadas, visando adequar não apenas a resistência de aterramento, mas principalmente implementar medidas para redução da impedância de aterramento como um todo. O projeto da LT já indicava um valor de resistência mais elevada em alguns trechos. Tanto que o mesmo contemplou a instalação de para-raios nestes piores trechos.

3.35 - Avaliação da compatibilidade eletromagnética em luminárias públicas de LED

ALESSANDRA DA COSTA BARBOSA PIRES DE SOUZA(1); WILLIAMS FELIPPE DE OLIVEIRA ROSA(1); - CEPEL(1);

A publicação da Portaria do Inmetro nº 20, de 15 de fevereiro de 2017, que regulamenta a certificação das luminárias públicas viárias exige, dentre outros requisitos, a avaliação da compatibilidade eletromagnética desses produtos. Essa avaliação é feita conforme ensaios descritos na norma ABNT NBR IEC/CISPR 15: 2014 – Limites e métodos de medição das radioperturbações características dos equipamentos elétricos de iluminação e similares. Esse artigo visa demonstrar a importância da exigência da avaliação da compatibilidade eletromagnética, através da apresentação dos resultados dos ensaios em um conjunto de luminárias públicas viárias com tecnologia LED.

Perguntas e respostas:

A) A análise das marcas de luminárias públicas viárias foi feita por algum motivo especial / problema específico ? O que motivou a análise?

B) Na opinião dos autores, a adoção massiva de luminárias / lâmpadas LED pode gerar problemas de ruídos de alta frequência no sistema, interferindo com outros equipamentos ?

C) Tendo como base a experiência dos autores, o que pode ser esperado para as lâmpadas LED de uso residencial?

4.0 TÓPICOS PARA DEBATE

Dada a relevância de alguns temas que foram levantados nos ITs do GDS, propõe-se para debate alguns dos seguintes tópicos:

- ✓ Fontes renováveis alternativas de energia (geração eólica e solar) estão em pleno desenvolvimento no mundo e no Brasil. O número de geradores eólicos que estão em processo de leilão e conexão na rede elétrica tem crescido substancialmente nos últimos anos. A entrada da fonte solar, baseada em painéis fotovoltaicos, certamente impulsionará as redes inteligentes, particularmente no nível da distribuição, mesmo considerando que por enquanto a mesma está concentrada no sistema de transmissão. Sugere-se como tópicos para debate: o impacto deste tipo de geração intermitente, particularmente conectadas através de conversores de potência, na qualidade de energia e no desempenho do sistema; a discussão sobre a modelagem adequada destas fontes para a análise do sistema em regime permanente, dinâmico e transitório, bem como para análise de qualidade de energia.
- ✓ O desenvolvimento de novos recursos para análise de sistemas de potência no âmbito dos regimes permanente, dinâmico e transitório oferece a possibilidade de representar redes mais extensas, com modelagem mais detalhada, com tempo de simulação reduzido, trazendo ganhos significativos ao engenheiro de análise. Neste âmbito propõem-se os seguintes tópicos para debate: novos recursos computacionais na área de simulação e sistemas elétricos de potência; novos modelos de rede e seus componentes com os respectivos benefícios para a análise; modelagem da carga; metodologias para desenvolvimentos de equivalentes de rede apropriados para análise dinâmica e transitória; experiência com o uso de simuladores digitais em tempo real, aprimoramento da modelagem de instalações do sistema e de parâmetros para análise de transitórios eletromagnéticos e descargas atmosféricas.

- ✓ É de grande importância para o aprimoramento dos recursos de análise a validação dos modelos geralmente utilizados em simulações, com experimentos de campo e acompanhamento do desempenho operativo das instalações. Neste sentido, sugere-se os seguintes tópicos para debate: a necessidade de comprovação e a melhor forma de conduzi-la referente aos modelos de simulação e parâmetros geralmente utilizados nas análises de sistema através de ensaios e experimentos em campo; o desenvolvimento e divulgação do acompanhamento operativos das instalações sob os vários aspectos, incluindo transitórios eletromagnéticos, qualidade de energia; a obtenção de dados históricos de desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas, no sentido de calibrar metodologias de avaliação deste fenômeno etc.

5.0 CONSTATAÇÕES FINAIS 1

Os temas relacionados a desempenho a descargas atmosféricas despertaram grande interesse.

O tema de resposta em frequência de equivalentes dinâmicos merece ser continuado.

6.0 CONSTATAÇÕES FINAIS 2

Desafios da modelagem dos cabos isolados para estudos de transitórios eletromagnéticos. A falha de equipamentos envolvendo interação com o sistema ainda é um grande desafio. Prejuízos na indústria causados por falta de qualidade de energia

7.0 CONSTATAÇÕES FINAIS 3

A conexão dos parques eólicos a rede elétrica do ponto de vista de distorção harmônica continua uma questão polêmica. Analisadas várias melhorias em ferramentas computacionais de simulação transitórias e sugeridas nova