

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AFERIÇÃO DA PRESSÃO INTERNA DOS PROTETORES¹
DEVELOPMENT OF A SYSTEM TO MEASURE INTERNAL PRESSURE OF PROTECTORS

Giordano Marholt Walker², Paulo Sérgio Sausen³, Mauricio De Campos⁴, Leonardo Sostmeyer Mai⁵, Pedro Gelati Pascoal⁶, Catherine Marquioro Freitas⁷

¹ Pesquisa Institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng) pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC)

² Bolsista PROBITI/Fapergs, aluno do curso de Engenharia Elétrica na UNIJUI.

³ Professor Orientador Dr. Paulo S. Sausen.

⁴ Professor Colaborador MSc. Mauricio de Campos.

⁵ Bolsista PROBIC/Fapergs, aluno do curso de Engenharia Elétrica na UNIJUI.

⁶ Bolsista PIBIC/UNIJUI, aluno do curso de Engenharia Elétrica na UNIJUI.

⁷ Bolsista PIBITI/UNIJUI, aluno do curso de Engenharia Elétrica na UNIJUI.

INTRODUÇÃO

Segundo a BP Global, a geração de energia no mundo em 2016 cresceu 2,2% em relação a 2015, e este número continua a subir, pois o crescimento econômico mundial implica em um aumento da demanda de energia. Para acompanhar este crescimento, faz-se necessário o aperfeiçoamento dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP), desde a geração até a distribuição, para que os mesmos possam continuar fornecendo energia elétrica com continuidade e segurança ao consumidor.

É neste contexto que o Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da Unijuí tem desenvolvido o projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) junto a CEEE-RS intitulado "Desenvolvimento e Implantação de um Lote Pioneiro de um Sistema de Monitoramento e Supervisão de Unidades Transformadoras e Subestações" que consiste, em linhas gerais, na implantação de um conjunto de 160 unidades de um sistema para monitoramento de subestações transformadoras da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE - RS), localizadas em Porto Alegre - RS.

O sistema é composto de uma rede de sensores inteligentes, distribuídos em 3 módulos distintos: Módulo de Aquisição Principal, Módulo de Aquisição de Correntes do Primário e o Módulo de Aquisição de Grandezas do Secundário, sendo cada um deles responsável pela leitura de diferentes grandezas que podem vir a influenciar no funcionamento da subestação. A comunicação destes módulos é realizada através de redes PLC (*Power Line Communication*) e CAN (*Controller Area Network*).

Dentre as várias grandezas monitoradas pelo sistema está a pressão interna do protetor do transformador. Esta grandeza é monitorada a partir de um sensor de pressão interno ao protetor. A importância de monitorar esta grandeza reside na possibilidade de inundação completa da subestação e conseqüentemente do transformador de energia que não pode permitir que a água entre no transformador ocasionando avarias. Para contornar este problema é injetado ar comprimido dentro deste protetor objetivando que o mesmo fique com pressão positiva e não

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

permita a entrada de água no seu interior.

Posto isto, o principal objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento e teste de um sistema que simulará a pressão interna do protetor do transformador. Este sistema auxiliará na calibração dos sensores e no teste dos mesmos, verificando se eles serão capazes de medir a pressão com precisão e sensibilidade.

METODOLOGIA

Antes de iniciar, é importante ressaltar que os 160 sistemas de monitoramento serão instalados em subestações localizadas abaixo do nível das ruas no centro de Porto Alegre/RS. Dentro das subestações de energia subterrâneas, existe um transformador de potência (3,9 kV para 127 V), e um sistema de controle. Acoplado ao transformador, existe seu protetor onde estão os contatos e os relés de proteção, entre outros equipamentos.

Também é importante ressaltar a definição de pressão, que segundo o Inmetro, em seu Guia de Calibração (2010), é o resultante do efeito da força de impacto das moléculas de um fluido nas paredes de um recipiente em que o mesmo está contido. A pressão pode ser de três tipos: Absoluta, Manométrica e Diferencial. A absoluta é a pressão medida a partir do zero absoluto. A Manométrica é a pressão medida a partir da pressão atmosférica. E a Diferencial é a diferença entre duas pressões.

Neste trabalho, todas as medidas de pressão foram consideradas sob pressão absoluta. Como o sensor utilizado é manométrico, considerou-se 1 bar a pressão atmosférica e adicionou-se a esse valor no resultado medido, acrescentando um erro que será debatido nos resultados.

O sensor de pressão é apenas uma parte do Módulo de Aquisição de Grandezas do Secundário. Portanto, vai anexado na placa de circuito impresso desenvolvida. A placa, por sua vez, será colocada dentro do protetor do transformador da subestação. Para tanto, o sensor deveria ter um encapsulamento pequeno, não ocupando muito espaço da placa, e sendo de baixo custo e com uma boa precisão. O sensor escolhido, dentre as opções disponíveis foi o MPXH6300A.

Suas dimensões são de aproximadamente 0,9 centímetros de comprimento e largura, e 1 centímetro de altura. Realiza leituras de temperaturas de -40°C até 125°C , possuindo uma alta precisão em sua faixa mais elevada; e sua alimentação pode ser de até 4,9 V (NXP, 2007).

Como já mencionado, no protetor do transformador é aplicada uma pressão positiva para evitar a entrada de água no mesmo em caso de alagamento da subestação. Não existe a necessidade de níveis de pressão alto, apenas é fundamental que a mesma seja positiva, ou seja, maior que a pressão atmosférica. A partir disto, a função do sensor é garantir que a pressão se mantenha positiva para evitar infiltração, e detectar variações que possam representar algum tipo de dano ou problema.

Segundo Balbinot e Brusamarello (1970), as definições de precisão, exatidão e sensibilidade são conforme segue.

Precisão: grau de concordância entre os valores medidos, obtidos repetidamente com o mesmo ou semelhante ambiente de teste.

Exatidão: aptidão de um instrumento para fornecer respostas próximas ao seu valor verdadeiro.

Sensibilidade: é a razão da variação na saída pela variação da entrada.

Observando as definições anteriores, a caracterização e a aplicação do sensor, pode-se concluir que não é necessária exatidão, mas sim de precisão e sensibilidade, visto que uma pequena diferença de pressão não afetará o sistema, e perceber variações de leituras pode auxiliar nas ações a serem tomadas.

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

A partir disso, decidiu-se realizar a calibração do sensor através da própria pressão atmosférica, pois mesmo que ela varie com a altitude e com a temperatura local, é possível chegar a um resultado razoável, reduzindo tempo que seria gasto e facilitando o processo.

O próximo passo foi realizar a montagem do protótipo do sistema para simular a pressão interna ao transformador. Foi utilizada um modelo de caixa já usada para condicionar as placas dos módulos que compõem o sistema de monitoramento, da fabricante Cemar, conforme pode ser observado na Figura 1.

Para minimizar a quantidade de cabos, e conseqüentemente as aberturas desta caixa, optou-se por utilizar apenas uma entrada para a alimentação, uma para a entrada de pressão, e outra para o sensor que seria utilizado para comparar as medições; em todas elas foram utilizados prensa-cabo de $\frac{3}{8}$ ou de $\frac{1}{2}$ polegada da fabricante Cemar (ver Figura 1 (A)). Os demais sensores e cabos da placa do secundário foram desconsiderados para este teste. Tanto as caixas como os prensa-cabos possuem certificação IP68, que protegem contra objetos sólidos e imersão por longos períodos em água e pressão. Também foi utilizada uma bomba de ar para gerar a pressão positiva no interior da caixa usada no experimento.

Para realizar a comparação das medidas do sensor de pressão da placa, utilizou-se um sensor manométrico, da fabricante Genebre, modelo 3820N, com diâmetro de rosca de 53 milímetros, rosca de $\frac{1}{4}$ de polegada, classe de precisão 2,5, e fundo de escala de 2,5 bar e/ou 40 psi, com escalas de 0,1 bar e 1 psi.

O primeiro protótipo utilizou uma caixa de dimensões 16,2 cm x 12,2 cm x 8,2 cm, e em virtude do tamanho reduzido da caixa, não foi utilizada a placa do secundário, apenas o sensor manométrico. Nos testes preliminares o protótipo suportou e manteve pressões de até 1,4 bar, sem apresentar vazamentos. Considerando que não é necessário testar a resistência do sistema em relação a pressões além das encontradas em campo, estes testes permitiram a conclusão de que seria válido a utilização destas caixas. Em seguida, realizou-se a montagem do sistema final, utilizando o mesmo esquema, mas com uma caixa maior que facilita o trabalho e manuseio dos sensores durante o experimento.

A nova caixa, apresentada na Figura 1, possui dimensões 25,2 cm x 20,2 cm x 10,3 cm, para suportar as dimensões da placa do secundário. Foram utilizados os mesmos prensa-cabos, nas mesmas posições. Com o intuito de não deixar as placas soltas enquanto são realizadas as medições, e para melhor organização, foi adicionado uma placa acrílica ao fundo da caixa, junto com 4 espaçadores, conforme pode ser observado na Figura 1 (A). O resultado final pode ser observado na Figura 1 (B).



Figura 1 – Plataforma de Teste Desenvolvida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

Durante a realização dos experimentos foi observado que conforme o nível da pressão interna da caixa aumentava ela inicia um processo de deformação o que poderia acarretar em vazamentos e comprometer os resultados dos experimentos. Para contornar este problema foi construído e adicionado à plataforma de testes dois suportes de madeira nas extremidades da caixa, o que manteve a rigidez estrutural da caixa em uma faixa maior de pressão conforme se pode observar na Figura 1 (C).

Para a realização dos testes, aplicou-se à caixa 4 pressões diferentes (1,2 bar, 1,3 bar, 1,4 bar e 1,5 bar), mantendo cada uma por intervalos de 30 segundos. A leitura do sensor manométrico foi utilizada como referência para estes valores. Concomitante a isso, realizou-se leituras, a cada 10 segundos, no sensor da placa desenvolvida. Este procedimento foi realizado 3 vezes, e a partir destas 3 leituras efetuou-se a média e o desvio padrão (S) das amostras. As leituras e os valores obtidos podem ser observados na Tabela 1 e no Gráfico 1.

Ensaios \ Min.	00:00	00:10	00:20	00:30	00:40	00:50	01:00	01:10	01:20	01:30	01:40	01:50	02:00
1	1,17	1,17	1,17	1,17	1,26	1,26	1,26	1,37	1,36	1,36	1,44	1,45	1,45
2	1,17	1,17	1,17	1,17	1,28	1,27	1,27	1,37	1,36	1,36	1,45	1,46	1,45
3	1,17	1,16	1,16	1,16	1,26	1,26	1,26	1,38	1,37	1,36	1,47	1,46	1,46
Média - S	1,17 ± 0	1,167 ± 0,0058	1,167 ± 0,0058	1,167 ± 0,0058	1,267 ± 0,0115	1,263 ± 0,0058	1,263 ± 0,0058	1,373 ± 0,0058	1,363 ± 0,0058	1,36 ± 0	1,453 ± 0,0115	1,457 ± 0,0058	1,453 ± 0,0058
Valor de Ref.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
Erro (%)	2,50	2,75	2,75	2,75	2,54	2,85	2,85	1,93	2,64	2,86	3,13	2,87	3,13

Média do Erro = 2,73

Tabela 1 - Dados das leituras

Leitura das Pressões

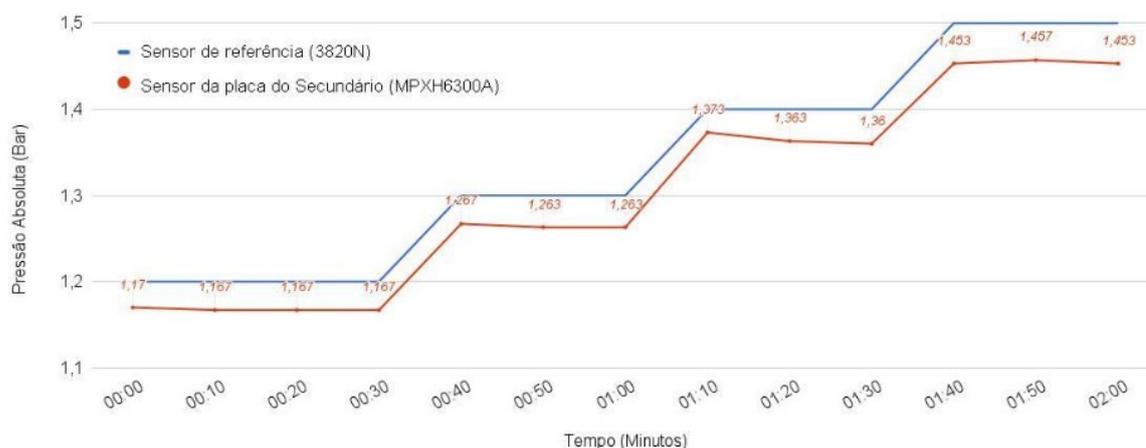


Gráfico 1 - Dados obtidos

Analisando os valores da Tabela 1 e do Gráfico 1 é possível observar uma diferença máxima de 3,13%, calculada através dos valores lidos pelo sensor de referência e pelo sensor da placa do secundário, em cada período de tempo. Além disso, verificou-se um desvio padrão reduzido, com valor máximo de $\pm 0,0115$, que demonstra que o sistema apresenta uma boa precisão, tendo pouca variação das leituras no tempo.

O erro máximo obtido nos ensaios foi de 3,13% e o erro médio 2,73%, ambos os casos podem ser

Evento: VII SEMINÁRIO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

considerados satisfatórios em decorrência dos seguintes motivos. O primeiro é em decorrência do erro do próprio sensor manométrico utilizado como referência, que segundo informações do fabricante (i.e. datasheet do produto), pode chegar até 2,5% do valor lido. O segundo motivo pode ser atribuído ao erro de paralaxe, que consiste na observação do ponteiro do medidor em um ângulo diferente de 90°, causando uma leitura equivocada. E ainda, o terceiro motivo poderia ser em decorrência do modelo de sensor utilizado, que é o manométrico, que necessita que seja realizada a conversão uma vez que por padrão foi adotada a pressão absoluta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo apresenta o desenvolvimento e teste de uma plataforma capaz de simular a pressão interna do protetor de um transformador de energia em uma subestação de energia elétrica da CEEE-RS, localizada em Porto Alegre/RS.

Mesmo com as dificuldades encontradas, foi possível desenvolver uma plataforma de teste, que atendeu as necessidades e objetivos inicialmente propostos. A utilização desta plataforma de teste facilitou os ensaios de aquisição de dados dos sensores de pressão. A eficácia deste sistema pode ser observada a partir dos 30 sistemas que já estão instalados e funcionando na CEEE-RS sem apresentarem erros em mais de seis meses de uso. Existem ainda um conjunto de 130 sistemas de monitoramento que já foram testados em laboratório, a partir da plataforma aqui apresentada, com sucesso e atualmente aguardam sua instalação.

Palavras-chave: Subestações transformadoras; energia elétrica; simulação; aferição de dados. Distribuição de energia elétrica.

Keywords: Transforming substations; electricity; simulation; data gauging; electric energy distribution.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE-D), a UNIJUI e a FAPERGS pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. Instrumentação e fundamentos de medidas, volume 1. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

BP Global. Electricity. Disponível em: < <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/electricity.html> > Acesso em: 28 jun. 2017.

INMETRO. Calibração de Instrumento de Medição Mostrador Analógico de Pressão (manômetro, vacuômetro e manovacuômetro). 2010.

NXP. MPXH6300A, 20 to 300 kPa, Absolute, Integrated, Pressure Sensor. Disponível em: < <http://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPXH6300A.pdf> > Acesso em 30 jun. 2017.