

TRANSDUTOR PARA MEDIR TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO ISOLANTE DE TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

JOSIVALDO GOODY DA SILVA^{1*}, ANDRÉ DA COSTA BORGES DA SILVA²;
MAYARA MANOEL SOARES³

¹Dr. Pesquisador, UFMS, Campo Grande-MS, josivaldo.silva@ufms.br

²Graduando, UFMS, Campo Grande-MS, andrecostaborges@hotmail.com

³Graduanda, UFMS, Campo Grande-MS, mayaramsoares@hotmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016–Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Transformadores de potência (TP) são equipamentos importantes e de alto custo no contexto dos sistemas elétricos de potência. A principal parte de um TP é o sistema de isolamento constituído basicamente pelo óleo isolante e pela isolação sólida feita de papel Kraft. Dessa forma, a diminuição da vida útil dos transformadores está relacionada com a qualidade dos materiais isolantes sendo que o óleo isolante sofre degradação devido à ação de diversos contaminantes destacando-se a umidade que provoca a formação de emulsões, bolhas em pontos críticos no papel de isolante e gera falhas nas isolações. Os problemas provocados pela umidade exigem a presença de um sistema de medição capaz de realizar um monitoramento contínuo, em linha e não destrutivo da concentração de umidade a fim de permitir planejar manutenções, trocar ou recuperar o óleo isolante em épocas adequadas, reduzir custos e eliminar riscos de paradas não programadas. Este projeto teve como objetivo desenvolver um transdutor capacitivo visando determinar o teor de umidade em óleo isolante utilizado em transformador de potência. O projeto foi desenvolvido no laboratório de Metrologia (Labmetro) da FAENG sendo que a primeira fase consistiu em desenvolver uma modelagem matemática do transdutor contendo uma ponte de sensores capacitivos no qual considerou-se tanto a variação de temperatura quanto a variação de umidade no óleo isolante. A segunda fase consistiu em desenvolver o transdutor possuindo uma estrutura mecânica de acrílico de 1 cm de espessura, quatro câmaras para inserção de óleo onde foram inseridos individualmente os sensores capacitivos e o circuito de condicionamento de sinais para alimentar os sensores. Na terceira fase, calibrou-se o transdutor utilizando-se como fonte de umidade a água mineral Minalba e o óleo isolante Envirotemp® FR3™ fabricado da Cargil onde foram repetidas três vezes as medições obtendo-se um comportamento não linear sendo que para 0,06 ml de água mediu-se 95,8 mV e para 0,60 ml de água mediu-se 1.497,1 mV, o maior desvio padrão foi de $\pm 0,3$ e a sensibilidade do transdutor foi de 2.495 mV/ml.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo isolante, transdutor, contaminação, umidade.

TRANSDUCER FOR MEASURING MOISTURE CONTENT IN OIL POWER TRANSFORMER INSULATION

ABSTRACT: Power transformers (TP) are important equipment and high cost in the context of electric power systems. The main part of the TP is constituted basically by the insulation system insulating oil and the solid insulation made with paper. Thus, the reduction of the useful life of transformers is related to the quality of insulating materials and the insulating oil undergoes degradation by the action of various contaminants moisture highlighting that causes the formation of emulsions, bubbles at critical points in the roles of insulation, generates faults in insulations. The problems caused by moisture require the presence of a measurement system capable of performing a continuous monitoring, online and non-destructive concentration of moisture in order to allow planning maintenance, change or recover insulating oil in appropriate times, reduce costs and eliminate risk of unscheduled stoppages. This project aimed to develop a capacitive transducer to

determine the moisture content in Insulating oil used in power transformers. The project was developed in the laboratory of Metrology (Labmetro) of FAENG. The first phase of the project was to develop a transducer mathematical modeling containing a capacitive sensor bridge in which we considered the change in temperature and humidity variation in the insulating oil. The second stage was to develop mechanical transducer structure using acrylic 10 mm thick, four chambers for insertion oil which were individually inserted capacitive sensors and signal conditioning circuitry to power the sensors. In the third phase, the transducer is calibrated using as the source of moisture with mineral water and insulating oil Envirottemp® FR3 of Cargill™ which were repeated three times measurements give a nonlinear behavior and that for 0,06 ml water was measured 95.8 ml of water and to 0.60 mV was measured 1497.1 mV, the largest standard deviation was $\pm 0,3$ and the transducer sensitivity was 2.495 mV / ml.

KEYWORDS: Insulating oil, transducer, contamination, moisture.

INTRODUÇÃO

Transformadores de potência (TP) são equipamentos importantes e de alto custo no contexto dos sistemas elétricos de potência. São máquinas estáticas que transferem energia elétrica de um circuito para outro, mantendo a frequência e variando os valores de corrente e de tensão. A principal parte de um TP é o sistema de isolamento constituído pelo óleo isolante e também pela isolação sólida feita com papel Kraft. Entre os diversos contaminantes do óleo isolante destaca-se a umidade por provocar danos mais severos como à formação de emulsões, bolhas em pontos críticos nos papéis de isolação, gerar falhas nas isolações e causar arcos voltaicos.

Segundo Higuti (2001) surge uma forte demanda demanda por equipamentos que sejam capazes de realizar a caracterização ou a discriminação de líquidos homogêneos e não homogêneos com elevada sensibilidade e acurácia. Segundo a NBR 5416/97 o teor admissível de umidade pode chegar a 1% nos enrolamentos para carregamento dependendo do projeto, entretanto o teor de 0,5% em volume foi utilizado para efetivamente provar a capacidade do transdutor, garantir uma boa faixa de segurança com a utilização de um método de medição com resolução de 0,1% (HIGUTI, 2001).

Os problemas provocados exigem a presença de um sistema capaz de realizar um monitoramento contínuo, em linha e não destrutivo do teor de umidade no óleo isolante a fim de permitir planejar manutenções, trocar ou recuperar o óleo contaminado em épocas adequadas, reduzir custos e riscos com paradas não programadas (ADAMOWISKI & BUIOCHI, ?). Em vista dos problemas comentados no TP foi proposto o desenvolvimento de um transdutor constituído de sensores capacitivos, câmaras de inserção de óleo e circuito de condicionamento com objetivo de medir o teor de umidade no óleo isolante na faixa de 0 a 0,5% em volume.

MATERIAIS E MÉTODOS

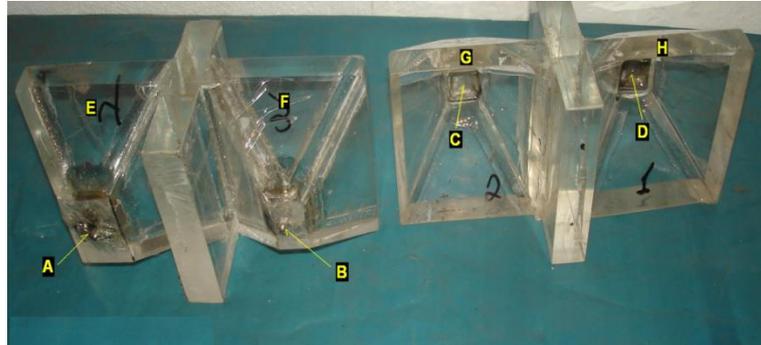
O projeto foi desenvolvido no laboratório de Metrologia e Instrumentação (Labmetro) da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Geografia – FAENG da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Após realizar a revisão bibliográfica sobre transdutores, projetou-se e implementou-se a estrutura mecânica do transdutor desenvolvida em acrílico para garantir a isolação elétrica, facilitar a usinagem e permitir a colagem das peças de acrílico.

Foram desenvolvidas duas câmaras para a inserção de óleo isolante contaminado e outras duas câmaras para a inserção de óleo puro. A Figura 1 mostra a foto das câmaras de óleo contendo as placas de sensores capacitivos no fundo.

Na sequência desenvolveram-se quatro sensores capacitivos idênticos C1, C2, C3 e C4 de placas planas e paralelas feitas de aço inox e medindo cada uma delas 3 mm x 3 mm x 1 mm. Na etapa posterior construiu-se em acrílico quatro pivôs móveis circulares para serem mergulhados no óleo isolante de cada uma das câmaras de óleo. Cada pivô móvel foi utilizado para fixar cada placa superior de um sensor capacitivo e permitir a regulagem do espaçamento entre as placas considerando o tipo de óleo utilizado. Os quatro pivôs são idênticos e medem cada um deles 40 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento. A Figura 2 mostra a foto dos quatro pivôs móveis. A Figura 2 mostra a foto dos quatro pivôs móveis.

A Figura 3 mostra o circuito da ponte contendo os quatros sensores capacitivos destacando-se que C1 e C4 utilizados para medir a variação da permissividade dielétrica do óleo contaminado com umidade enquanto os sensores C2 e C3 foram utilizados para conter óleo isolante puro e fornecer sinal elétrico de referência.

Figura 1. Câmaras para inserção de óleo.



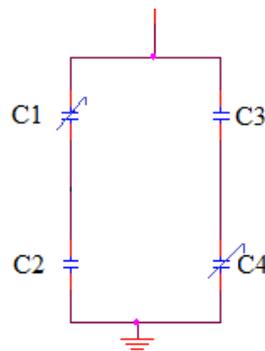
Sendo A, B, C, D: Placas inferiores dos sensores capacitivos e E, F, G, H: Câmaras de acrílico para a inserção de óleo.

Figura 2. Pivôs móveis.



Sendo A, B, C, D: Pivôs móveis e E, F, G, H: Placas superiores dos sensores capacitivos.

Figura 3. Ponte de sensores capacitivos.



Sendo C1 e C4: Sensores capacitivos contendo óleo isolante contaminado e C2 e C3: Sensores capacitivos contendo óleo isolante puro.

A Figura 4 mostra a estrutura mecânica externa do transdutor que foi utilizada para permitir a montagem das câmaras de inserção de óleo, os pivôs móveis e o circuito de condicionamento de sinais.

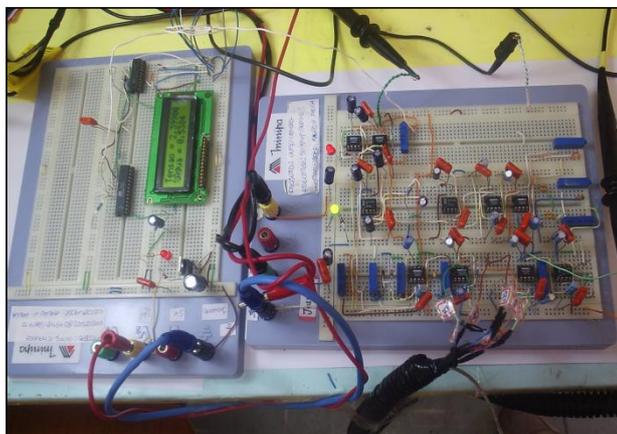
Figura 4. Estrutura mecânica do transdutor.



Sendo G, H: Duas câmaras de óleo frontais, A, B, C, D: Cabeçote de cada pivô móvel, I, J: Contatos elétricos das câmaras de óleo com o circuito de condicionamento de sinais e K: Gabinete para inserção do circuito de condicionamento de sinais.

O circuito de condicionamento de sinais mostrado na Figura 5 foi desenvolvido em *protoboard* MPL 2400 (Minipa) com CI OPA 27 GP (Burr-Brown) de instrumentação apresentando ultra baixo ruído. Além disso, o circuito é constituído por um oscilador de Wien que gerou frequência de 26 kHz e tensão de 20 Vpp AC, um amplificador diferença nos terminais de saída ponte de sensores, um filtro passa-banda e um detector de pico.

Figura 5 - Circuito de condicionamento de sinais.



Na terceira fase, calibrou-se o transdutor utilizando-se como fonte de umidade a água mineral Minalba e o óleo isolante Envirotemp® FR3™ fabricado da Cargil onde foram repetidas três vezes as medições. O teor de umidade contido no óleo isolante variou na faixa de 0 a 0,5% correspondendo a faixa de 0 até 0,60 ml de água introduzida no óleo isolante.

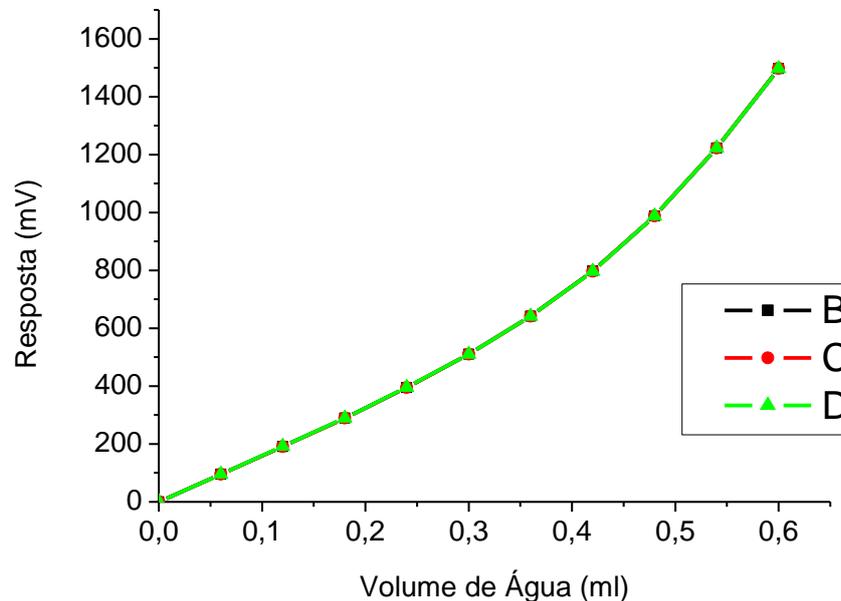
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 mostra o gráfico com o resultado obtido das três repetições das medições efetuadas na faixa de teor de umidade que variou de 0 a 0,5%.

As medições obtidas foram conseguidas a partir de 0,06 ml de água, correspondendo a 0,05% no volume de óleo onde obteve-se 95,8 mV enquanto que para 0,60 ml de água, correspondendo a 0,5% obteve-se 1.497,1 mV. A sensibilidade do transdutor foi de 2.495 mV/ml enquanto o maior desvio padrão foi de $\pm 0,3$ em relação ao valor médio.

O gráfico apresenta o comportamento não linear do transdutor que está intimamente relacionado ao acúmulo progressivo de água nas câmaras de óleo que contêm óleo contaminado.

Figura. 6 - Resultados das medições.



CONCLUSÃO

A proposta de implementar um transdutor capaz de medir o teor de umidade em óleo isolante atendeu plenamente aos requisitos. O transdutor demonstrou potencial para medir volume de água inferior a 0,06 ml embora tais medidas não foram efetuadas devido à falta de pipeta adequada.

Se forem desenvolvidos volumes maiores para as câmaras de óleo, o transdutor será capaz de medir teores de umidade ainda menores.

Foi desenvolvido um circuito de condicionamento de sinais eletrônico de pequenas dimensões entretanto o transdutor permite operar com tensões superiores a 26 Vpp AC provocando aumento da sensibilidade e redução do tamanho do circuito eletrônico. Além disso, o transdutor permite que a fonte de alimentação opere com frequências diversas tornando-o muito versátil.

Os resultados mostraram que o transdutor pode contribuir significativamente para a coleta de informações relacionadas também à umidade em óleos lubrificantes de motores, óleos comestíveis, óleo de freio, óleo de mamona.

O comportamento não linear da curva de resposta indica que à medida que a água acumula nos sensores capacitivos C_1 e C_4 a sensibilidade do transdutor aumenta acentuadamente.

REFERÊNCIAS

Higuti, R. T. Caracterização de Líquidos por Ultra-Som. São Paulo, Brasil, USP, 2001, 150p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica em Instrumentação Eletrônica).

Adamowiski, J. C., Buiochi, F., Caracterização de Óleo Lubrificante Contaminado por Água,?. Disponível em: <http://www.pmr.poli.usp.br/lsat/liquidos/oleo.htm>. Acesso em: 04/06/2016.