

MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS

ISABELLA FENNER RONDON^{1*}, JOSIVALDO GODOY DA SILVA²,

¹Acadêmica de Engenharia Elétrica, UFMS, Campo Grande-MS. Fone: (67) 9202-5442, isabella.fenner@gmail.com.

²Doutor em Automação e Controle, UFMS, Campo Grande –MS. Fone: (67) 9957-7142, josivaldog@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo determinar o teor de umidade em óleo lubrificante de mancais de turbina de usina hidrelétrica até 0,45% do volume total. A umidade no óleo lubrificante faz surgir ácidos, tais como o sulfúrico e o sulfídrico, que agredem o metal patente e prejudicam a lubrificação hidrodinâmica dos mancais. O transdutor capacitivo utilizado foi desenvolvido com quatro sensores capacitivos ligados em Ponte de *Wheatstone* e um circuito de condicionamento de sinais. O transdutor capacitivo apresentou boa resposta como um coeficiente de correlação de 0,9987, repetitividade de 0,03, resolução de 276 mV, sensibilidade de 5,53 V/ml, boa estabilidade com a temperatura até +55 °C e nenhuma histerese.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo lubrificante; permissividade dielétrica; umidade.

MOISTURE CONTENT MEASUREMENT IN LUBRICATING OIL TURBINES

ABSTRACT: This study aimed to determine the moisture content in lubricating oil power plant turbine bearings up to 0.45% of the total volume. Moisture in lubricating oil raises acids such as sulfuric acid and hydrogen sulfide, which harm the white metal and damage the hydrodynamic lubrication of bearings. The capacitive transducer used was developed with four capacitive sensors connected in Wheatstone bridge and a conditioning circuit signals. The capacitive transducer showed good response as a correlation coefficient of 0.9987, repeatability of 0.03, 276 mV resolution, sensitivity of 5.53 V/ml, good stability with temperature up to 55 °C and no hysteresis.

KEYWORDS: Oil lubricating; dielectric permittivity; moisture.

1. INTRODUÇÃO

Devido aos problemas causados pela presença de água no óleo lubrificante é importante realizar um monitoramento do teor de umidade de forma contínua, não destrutiva e em linha.

O teor de umidade que deve ser detectado no óleo lubrificante é menor que 0,5% em volume, sendo desejável um método de medição que apresente resolução de 0,1%. Assim, verifica-se uma demanda considerável por instrumentos capazes de realizar uma caracterização de líquidos homogêneos e não homogêneos com elevada sensibilidade e acurácia (HIGUTI 2001).

De acordo com as fontes bibliográficas pesquisadas, nenhuma pesquisa atendeu de forma plena os requisitos de custo, desenvolvimento nacional e faixa de operação. Desta forma, implementou-se um transdutor capacitivo com custo reduzido, projeto simples e de excelente potencial para aplicação industrial. Este monitoramento permitirá planejar manutenções, trocar ou recuperar o óleo contaminado em épocas adequadas, reduzir custos e riscos de paradas não programadas e permitir a obtenção de informações por meio de métodos físico-químicos e oferecer uma contribuição nacional (HIGUTI 2001).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, no laboratório de Instrumentação e Sensores.

O transdutor capacitivo foi desenvolvido utilizando-se uma estrutura mecânica de acrílico contendo quatro câmaras para a inserção tanto de óleo lubrificante puro de referência, quanto de óleo lubrificante contaminado com água, quatro sensores capacitivos c_1 , c_2 , c_3 e c_4 , quatro pivôs móveis e um circuito de condicionamento de sinais microcontrolado.

A estrutura mecânica acrílico do transdutor foi utilizada por apresentar boa isolamento elétrica, resistência mecânica suficiente, além de permitir a usinagem e a colagem de peças entre si. A cola utilizada foi a S330 com catalisador.

Cada uma das câmaras de óleo possui quatro lados e formato cônico que tem a função de direcionar a água para o fundo da mesma onde se localiza o sensor capacitivo.

Em duas câmaras receptoras introduziu-se óleo lubrificante contaminado com água, enquanto nas outras duas câmaras introduziu-se óleo lubrificante puro para servir de referência.

As câmaras receptoras dos sensores capacitivos c_1 e c_4 foram coladas lado a lado e o mesmo se fez com as duas câmaras dos sensores capacitivos c_2 e c_3 . As quatro câmaras podem conter diversos volumes de óleo até o limite de 300 ml cada uma delas.

Na fase seguinte, desenvolveram-se quatro sensores capacitivos idênticos c_1 , c_2 , c_3 e c_4 utilizando-se aço inox ABNT tipo 304. Cada sensor capacitivo possui duas placas (superior e inferior) planas e paralelas. A placa metálica inferior possui um rebaixo central para captação de água.

Os sensores capacitivos c_1 e c_4 foram imersos em óleo lubrificante contaminado com água, enquanto os sensores capacitivos c_2 e c_3 foram imersos no mesmo tipo de óleo lubrificante puro, para fornecer sinal de referência. O óleo lubrificante empregado foi o Móbil DTE-HM utilizado nos mancais de turbinas e reguladores de velocidade da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira - SP.

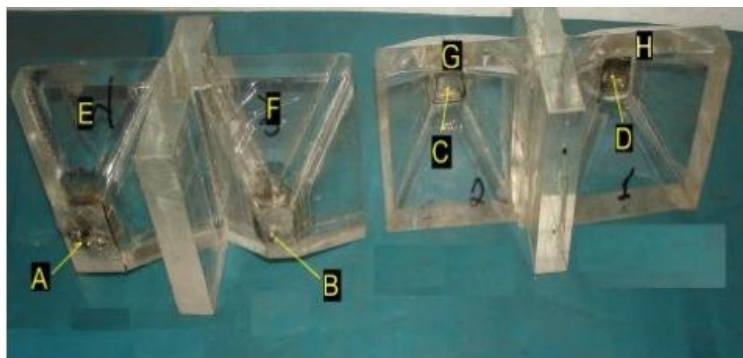
A contaminação de cada amostra de óleo lubrificante utilizada foi realizada com auxílio de uma pipeta com escala adequada. As contaminações das amostras de óleo foram aumentadas progressivamente em valores padronizados iniciando em 0% e terminando em 0,45% do volume total da câmara receptora que foi de 300 ml. Foi utilizada água mineral para misturar ao óleo lubrificante mantendo-se a marca e o fornecedor, com objetivo de eliminar diferenças na composição da água.

Foram desenvolvidos quatro pivôs móveis em acrílico sendo fixada na extremidade de cada um deles a placa superior de cada um dos sensores capacitivos. Estes pivôs foram desenvolvidos para permitir a regulação da abertura entre as placas do sensor considerando a viscosidade e a sensibilidade desejada do transdutor capacitivo.

Cada pivô móvel mede 304 mm de diâmetro e 140 mm de comprimento. Além disso, eles permitem realizar um ajuste fino de espaçamento de 1 a 4 mm entre as placas metálicas de cada sensor capacitivo. Esta regulação de espaçamento permite alterar a sensibilidade, fazer a compensação de capacitância da ponte e utilizar óleos com viscosidades diferentes. Cada um destes pivôs móveis foi fixado individualmente na parte superior do transdutor capacitivo com objetivo de evitar que se deslocassem durante a calibração e garantir a realização dos experimentos.

A figura (1) apresenta a foto das quatro câmaras de óleo bem como as quatro placas inferiores dos sensores capacitivos.

Figura 1 – Foto das câmaras de óleo e das placas metálicas inferiores.



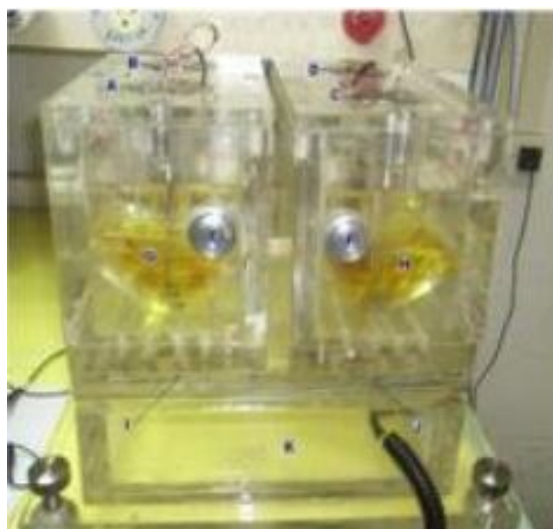
A alimentação da ponte de sensores capacitivos foi realizada por meio de um oscilador de Wien capaz de gerar tensão de 13,8 V com uma frequência de 27,4 kHz. A resposta da ponte de

Wheatstone foi conectada ao circuito de condicionamento de sinais constituído por um *buffer* desenvolvido com CI OPAGP (Burr-Brown) e um amplificador de instrumentação desenvolvido com CI INA 129P (Burr-Brown) que provocou um ganho de 300. Foi utilizado o CI OPAGP no detector de pico, pois este apresenta baixo ruído e baixas correntes de polarização e *offset*.

A saída do circuito de condicionamento foi desenvolvida com micro controlador ATMEGA8 (Atmel) e com objetivo de apresentar em *display* o teor de umidade no óleo lubrificante. À medida que se aumentou o teor de umidade no óleo lubrificante ocorreu a variação da resposta do circuito de condicionamento de sinais.

A figura (2) mostra a foto do transdutor capacitivo implementado.

Figura 2 – Transdutor capacitivo.



3. RESULTADOS OBTIDOS

A tabela (1) apresenta os resultados obtidos com o transdutor capacitivo.

Tabela 1. Resposta do transdutor capacitivo.

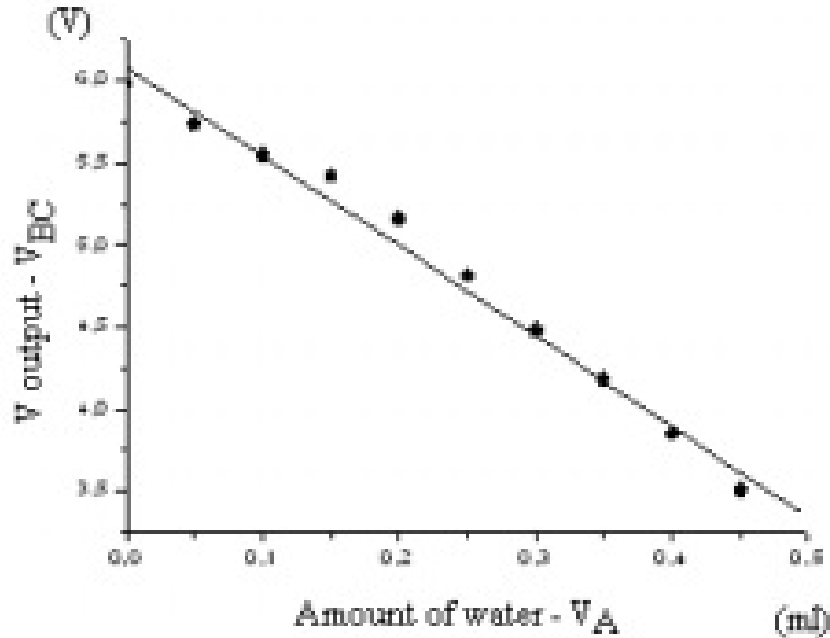
A(%)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	V ₄ (V)	V _m (V)	DP	Re
0,00	5,98	6,00	5,99	5,98	5,98	0,01	± 0,03
0,05	5,72	5,74	5,75	5,73	5,74	0,01	±0,03
0,10	5,53	5,54	5,57	5,55	5,55	0,02	±0,06
0,15	5,41	5,42	5,43	5,43	5,42	0,02	±0,06
0,20	5,13	5,14	5,17	5,16	5,15	0,01	±0,03
0,30	4,46	4,48	4,49	4,49	4,48	0,01	±0,03
0,45	3,50	3,50	3,52	3,51	3,51	0,01	±0,03

Sendo A: a concentração de água adicionada ao óleo lubrificante; V₁, V₂, V₃ e V₄: as tensões de resposta do circuito de condicionamento conectado à saída da ponte de sensores capacitivos; V_m: a tensão média aritmética das medidas V₁, V₂, V₃ e V₄; DP: o desvio padrão e Re(95%): a repetitividade.

4. DISCUSSÃO

A figura (3) mostra a resposta do transdutor capacitivo em relação a umidade.

Figura 3 – Resposta do transdutor acoplado ao circuito de condicionamento de sinais.



A resposta do transdutor capacitivo apresentou boa linearidade na faixa de interesse, com coeficiente de correlação de 0,9987, resolução de 276 mV, repetitividade de $\pm 0,03$ e sensibilidade de 5,53 V/ml. Em relação à faixa de operação, o dispositivo apresentou boa estabilidade térmica na faixa de +15 °C a +55 °C devido à temperatura suportada pelas peças de acrílico.

O transdutor pode operar com tensões superiores a 27,6 Vac geradas por um circuito de oscilação, provocando o aumento da sensibilidade da ponte de sensores capacitivos e a redução do ganho do amplificador do circuito de condicionamento de sinais. Além disso, esta ponte poderá operar com frequências diversas segundo a conveniência.

A proposta de implementar um transdutor capacitivo capaz de medir o teor de umidade na faixa de 0% a 0,45% em óleo lubrificante utilizado em mancais de turbinas e de reguladores de velocidade de usina hidrelétrica atendeu aos requisitos.

5. CONCLUSÃO

O transdutor capacitivo apresentou diversas vantagens, tais como: facilidade de implementação, custo reduzido comparado aos equipamentos importados e boa precisão. Além disso, os resultados mostraram que o transdutor capacitivo poderá contribuir significativamente para a coleta de dados industriais em tempo real, sendo necessário substituir o acrílico utilizado por um polímero de alta estabilidade térmica. Este equipamento poderá ser aplicado para determinar outros tipos de contaminantes como a presença de álcool no óleo.

REFERÊNCIAS

Higuti, R. T., “Caracterização de Líquidos por Ultra-Som”. São Paulo. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo – USP, 2001, pp. 1- 4.