

Sistema Optoeletrônico na Faixa do Infravermelho para Contagem de Esferas em Meios Turvos

Infrared Optoelectronic System for Counting Spheres in Turbid Media

J. Nunes¹, C. R. Hall Barbosa¹, S.B. Germano¹, M. N. Frota¹, Gilson Valente²

¹ Programa de Pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 22541-900, Brasil; ² Usina Fontes Nova, Piraí, RJ, Light Energia S/A

E-mail: hall@puc-rio.br

Resumo: Este artigo descreve um dispositivo crítico de um equipamento alternativo inovador para limpeza de trocadores de calor de hidrogeradores por esferas abrasivas, sem necessidade de parada técnica do grupo turbina-hidrogerador. Com base em componentes optoeletrônicos na faixa do infravermelho, implementou-se um contador automático de esferas, que permite monitorar a circulação de esferas, medir a sua velocidade e gerar sinais lógicos para comandar o sistema de automação das eletroválvulas. Resultados preliminares confirmam a eficácia do sistema, mesmo quando operado com águas turvas de opacidade superior àquela das águas utilizadas na geração da usina Fontes Nova, de propriedade da Light Energia S/A.

Palavras-chave: *Arrefecimento de hidrogeradores, Contador de esferas; esferas abrasivas; sistemas de limpeza de trocadores de calor.*

Abstract: This article describes a critical device of an innovative alternative equipment for cleaning hydro-generators heat exchangers, which makes use of abrasive spheres, without the need of technical shutdown of the turbine-generator group. Based on optoelectronic components operating in the infrared range, an automatic bead counter was implemented, which allows to monitor beads circulation, measure their velocity and generate logic signals to control the solenoid valves automation system. Preliminary results confirm the effectiveness of the system, even when operated with turbid water of opacity higher than that of the waters used in the generation of the Fontes Nova power plant owned by Light Energia S/A.

Keywords: *hydro-generators, bead counter; abrasive beads; heat exchanger cleaning system.*

1. INTRODUÇÃO

Trocadores de calor (TC) possuem um papel importante na geração de energia. Sua eficiência

é um dos fatores que impactam o funcionamento dos hidrogeradores. A água captada nos canais de fuga das turbinas é utilizada como fluido de arrefecimento nos TC e, usualmente, por estar

contaminada por matéria orgânica, é responsável pela formação de incrustações (*biofouling*) no interior dos tubos do TC. Tais incrustações impactam drasticamente a efetividade térmica e o desempenho hidrodinâmico do TC, comprometendo a eficiência do gerador. As paradas de manutenção periódicas necessárias às limpezas do TC diminuem a produtividade, gerando prejuízos devido à indisponibilidade dos equipamentos [1,2].

No contexto do projeto de P&D LIGHT/5161-0010/2016, foi desenvolvido um sistema para injeção e recuperação de esferas abrasivas (SIREA), que realiza a limpeza dos trocadores de calor utilizados no arrefecimento do hidrogênador, sem a necessidade de interromper a geração, aumentando, assim, a produtividade da usina. O sistema é capaz de inserir esferas abrasivas nos tubos do TC de forma automatizada, utilizando para tal eletroválvulas comandadas por um controlador lógico programável (CLP).

Um TC tubular típico possui uma grande quantidade de tubos e, durante a inserção das esferas, existe a possibilidade de retenção das mesmas no seu interior. Neste contexto, este artigo descreve o desenvolvimento e construção do sistema optoeletrônico inovador embarcado no SIREA, denominado CONDE (contador de esferas), que desempenha três funções complementares: monitorar a circulação de esferas; medir sua velocidade e gerar sinais lógicos para o sistema de automação. Este dispositivo [3].

2. DESCRIÇÃO DO CONDE

A interface eletrônica do CONDE e suas conexões elétricas encontram-se alojadas em um compartimento de acrílico (meio translúcido), diretamente acoplado à tubulação do SIREA, nos circuitos hidráulicos de injeção e recuperação de esferas abrasivas. Este dispositivo faz a interface eletrônica com o controlador lógico programável (CLP) do sistema de automação do SIREA.

A partir das necessidades do projeto, foram escolhidos o par de fotodiodo SEP8736 e fototransistor SDP8436 (Honeywell). Ambos operam na faixa do infravermelho com comprimento de onda de 880 nm. Estes componentes permitem a leitura direta da tensão de coletor do fototransistor, o que possibilita ajustar o limiar de detecção e adequar o sistema a meios com maior turbidez. O LED gera um feixe de luz com ângulo de abertura de até 10°, enquanto o fototransistor tem um campo de visão de 18°, assegurando intensidade adequada do sinal para a geometria em questão (esfera abrasiva de esponja porosa de poliuretano com 25 mm de diâmetro inserida em um tubo de 38,4 mm de diâmetro).

O sistema foi desenvolvido de forma a possuir robustez em relação a possíveis “falsos positivos” de detecção, que podem ocorrer caso um fragmento de incrustação (*fouling*) de dimensões visíveis desprenda-se dos tubos do trocador de calor e cruze o feixe infravermelho, sendo indevidamente contado como se fosse uma esfera. Dois mecanismos foram incorporados ao contador de esferas de modo a minimizar este problema, conforme descrito a seguir.

2.1. Utilização de dois Feixes Infravermelhos

A utilização de dois feixes infravermelhos defasados de 90 graus entre si, conforme ilustrado na Figura 1, reduz substancialmente a ocorrência de falsos positivos.

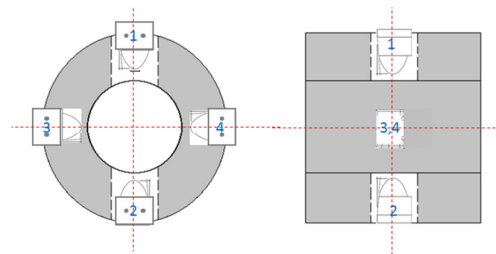


Figura 1. Seção transversal e longitudinal lateral do bloco de acrílico do CONDE, mostrando os dois pares de componentes optoeletrônicos defasados de 90°.

O dispositivo considera que a passagem de um objeto ocorre somente se ambos os feixes forem simultaneamente interrompidos, o que implica que um fragmento de pequenas dimensões teria que passar exatamente no eixo do tubo para que fosse contado.

2.2. Estimativa da Velocidade Linear

O dispositivo contador de esferas permite, também, medir sua velocidade linear, e então utilizar esta velocidade para descartar falsos positivos que tenham evitado o primeiro mecanismo, descrito em 2.1. Objetos detectados cujas velocidades lineares sejam muito diferentes da esperada (tipicamente 2 m/s, para assegurar eficácia do processo de limpeza) poderão ser descartados e não contabilizados como esferas.

2.3. Circuito Eletrônico

A Figura 2 apresenta o circuito eletrônico de excitação e leitura dos dois pares de componentes optoeletrônicos. O circuito apresenta, à esquerda, representações dos pares fotodiodo-fototransistor, medindo-se a tensão de emissor de cada fototransistor. Estas tensões são então fornecidas a dois comparadores diferenciais LM393, que verificam se as mesmas são maiores ou menores que tensões de limiar, as quais podem ser ajustadas por meio dos potenciômetros R13 e

R14. As saídas destes comparadores são ligadas a dois resistores (R15 e R16), formando uma porta do tipo AND. A função deste bloco é garantir que o comparador 3 seja ativado apenas quando ambas as saídas dos comparadores 1 e 2 estiverem ativas. Por fim, o comparador 3 é responsável por chavear o transistor T1, que funciona como uma saída do tipo “open collector”. Para fins de inspeção visual da saída do comparador 3, pode-se ligar um LED entre os terminais 1 e 3 de J1. A partir do circuito da Figura 2 foi gerada uma placa de circuito impresso com as dimensões necessárias ao encaixe no bloco de acrílico. Esta placa pode ser vista na Figura 3 no interior do bloco de acrílico.

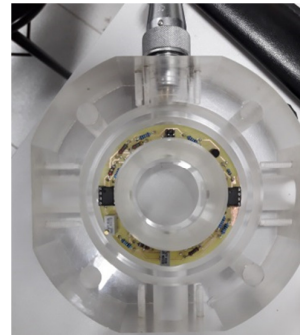


Figura 3. Bloco de acrílico do CONDE, mostrando a placa de circuito impresso que contém os componentes optoeletrônicos e o circuito eletrônico da Figura 2.

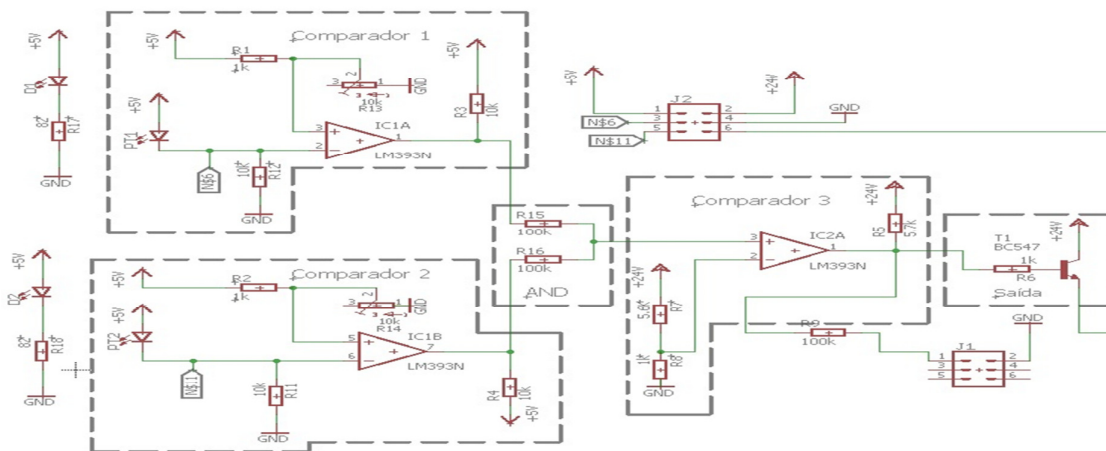


Figura 2. Circuito eletrônico do contador de esferas

3. TESTES EXPERIMENTAIS

3.1. Simulações de Turbidez

Uma vez que a opacidade da água circulante no interior dos TC afeta o desempenho dos componentes optoeletrônicos, a turbidez foi simulada com corante e controlada por meio do percentual em volume adicionado à água limpa durante testes em bancada. Foram testadas concentrações de corante de 0,25 ml/l até 6,0 ml/l em 8 séries de valores de tensão de coletor, permitindo calcular a tensão média para cada concentração, conforme mostrado na Figura 4.

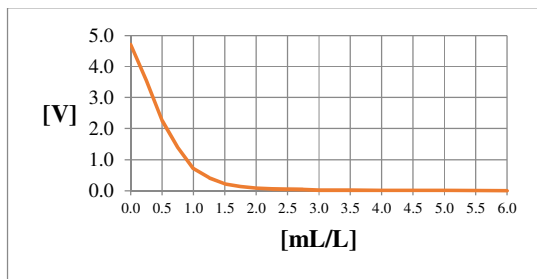


Figura 4. Variação da tensão média de coletor em função da concentração de corante.

3.2. Ensaio Dinâmico em Bancada

A Figura 5 apresenta o resultado de dois ensaios do contador completo, com uma esfera em queda livre a partir de duas alturas distintas, 11 cm e 25,6 cm, estimando-se velocidades médias de 1,53 e 1,13 m/s, respectivamente.

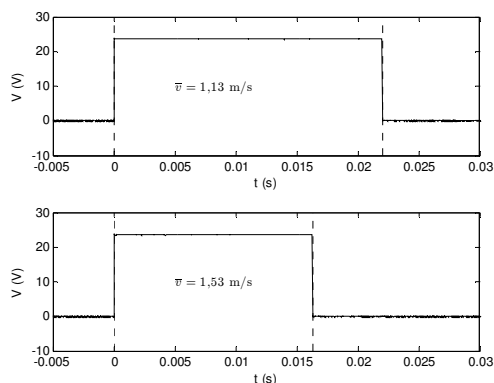


Figura 5. Pulsos gerados pelo contador de esferas para 2 velocidades distintas.

4. CONCLUSÕES

Os testes em bancada mostraram que o CONDE é adequado às necessidades do projeto, sendo capaz de detectar as esferas, medir a sua velocidade e gerar os sinais lógicos para a automação. Observou-se que a turbidez da água é um fator crítico ao funcionamento do sistema e a sensibilidade do sensor deve ser otimizada de forma a evitar falsos positivos. Uma segunda versão microcontrolada do CONDE encontra-se em fase de testes e será capaz de executar os cálculos de velocidade e contagem de esferas na própria unidade, dispensando o uso do CLP, assim definindo uma unidade autônoma para contar as esferas e medir a sua velocidade. O sistema deverá ser capaz de apresentar os dados em um visor embarcado no próprio bloco de acrílico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio financeiro prestado pelo CNPq, FINEP, FAPERJ e pelo Programa Light/Aneel de P&D.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Frota M N, Braga S L, Ticona E M, Guzman J J M, Ticona J M and Azevedo N J R C, “Avaliação hidrodinâmica e térmica de alternativas tecnológicas para mitigação de incrustações em trocadores de calor de hidrogeradores”, *Proc. VI CITENEL 2011* Fortaleza.
- [2] Frota M N, Ticona E M, Neves A V, Silva R P M, Braga S L and Valente Junior G P 2014 *Experimental Thermal and Fluid Science* **53** 197
- [3] Lubicz S B, Oliveira K C, Germano S B, Barbosa C R H, Frota M N and Valente G, “Automação da circulação de esferas abrasivas: proposição de alternativa tecnológica inovadora de sistema de limpeza de trocadores de calor de hidrogeradores”, *Proc. IX CITENEL 2017* João Pessoa.