



PROPOSTA DE SISTEMA ALTERNATIVO PARA REGISTRO DE DESCARGAS PARCIAIS

Rafael de Sousa Santos¹, Alan Petrônio Pinheiro¹, Andreia Coelho Domingos¹, Daniel Braga Melo¹, Fabrício Augusto Matheus Moura², Gabriel Machado Bernardes¹

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

² Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Resumo - Análises elétricas baseadas em sinais digitais têm sido estudadas para detecção de falhas em plantas industriais. Com base em levantamento bibliográfico, é possível notar a importância de controle de parâmetros instrumentais e estruturais para aquisição de dados, que podem comprometer na análise da integridade do sistema elétrico. Para análise, uma das limitações está relacionada ao alto custo dos equipamentos de medições de descargas parciais. Buscando uma solução de baixo custo, desenvolveu-se um sistema alternativo de aquisição de dados baseado em um computador portátil e um osciloscópio digital juntamente com um software capaz de realizar registro e avaliações de sistemas.

Palavras-Chave - descargas parciais, sistemas elétricos, single board computer, detecção de falhas, osciloscópio digital processamento de sinais.

PROPOSAL FOR AN ALTERNATIVE SYSTEM FOR RECORDING PARTIAL DISCHARGES

Abstract - Electrical analysis based on digital signals has been studied for fault detection in industrial plants. Based on a literature review, it is possible to note the importance of controlling instrumental and structural parameters for data acquisition, which can affect the analysis of the electrical system's integrity. One limitation for analysis is related to the high cost of partial discharge measurement equipment. In search of a low-cost solution, an alternative data acquisition system was developed, based on a laptop computer and a digital oscilloscope, along with software capable of recording and assessing systems.

Keywords - partial discharges, electrical systems, single board computer, fault detection, digital oscilloscope signal processing.

I. INTRODUÇÃO

O registro de descargas parciais (DPs) é uma das mais importantes direções de pesquisa no campo de diagnóstico de isolamento elétrico de alta tensão. Detectar descargas parciais frequentemente indica a necessidade de manutenção no equipamento, a fim de prevenir interrupções de corrente de

falha [1]. As DPs são fenômenos elétricos que ocorrem no isolamento de equipamentos elétricos operando em alta e média tensão. Atualmente, as DPs são classificadas de acordo com os critérios de sua origem [2], assim sendo:

- Descargas Internas – detectadas em vazios ou cavidades dentro de dielétrico sólidos ou líquidos;
- Descargas Superficiais – manifestam-se na fronteira de diferentes materiais de isolamento;
- Descargas Corona – sucedem em dielétricos, geralmente gasosos, quando há campos elétricos não uniformes.

O processo de registro de DP envolve a coleta contínua ou periódica de dados gerados pelas descargas parciais em equipamentos elétricos. Isso é realizado utilizando sistemas de aquisição de dados especializados e sensores posicionados estrategicamente nos pontos críticos do equipamento [3]. Esses sensores capturam as emissões de radiofrequência e outras características associadas às DPs, permitindo uma análise detalhada posteriormente [4].

No entanto, é importante destacar que uma das limitações que se apresenta está relacionada ao considerável custo dos dispositivos utilizados para realizar a medição precisa de DP. Esta questão financeira pode se tornar um obstáculo significativo, especialmente em ambientes onde os recursos orçamentários são restritos.

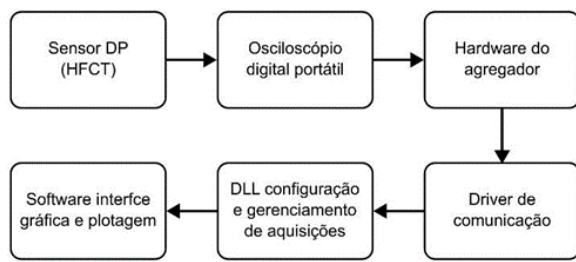
Para abordar essa problemática, o presente artigo não apenas delinea um sistema composto por hardware e software para medir e registrar essas DPs, mas também propõe soluções para mitigar os desafios financeiros e técnicos associados ao processo de medição. Ao explorar abordagens alternativas de tecnologias para medição, busca-se reduzir os custos sem comprometer a qualidade das medições, tornando assim a detecção e análise de DPs mais acessível e viável [5].

Nesse contexto, foi concebido um sistema alternativo que incorpora um computador portátil em conjunto com um osciloscópio digital programável. Esse sistema oferece a capacidade de adquirir dados relacionados às DPs, tudo isso viabilizado pela implementação de um software dedicado.

II. SISTEMA DE MEDIÇÃO

O Sistema geral de medição proposto pode ser entendido com um conjunto de subelementos que, de forma muito resumida, podem ser resumidos no diagrama da Figura 1.

Figura 1 – Visão geral do sistema proposto.



Fonte: O autor.

Devido ao notável avanço na tecnologia de computadores eletrônicos, tornou-se viável o desenvolvimento de sistemas de medição de DPs auxiliados por um computador portátil [6]. Para efetuar o monitoramento de descargas de maneira eficaz, é importante utilizar um dispositivo capaz de registrar, armazenar e processar os dados provenientes dos cabos de alta e média tensão. Nesta pesquisa, este dispositivo foi construído e batizado de “**agregador**” e foi especificamente desenvolvido para atender as principais necessidades de medição de DPs em campo por pessoal especializado. A Figura 2 ilustra o agregador.

Figura 2- Agregador desenvolvido.



Fonte: O autor.

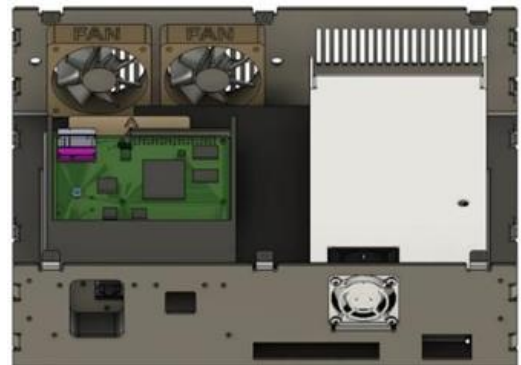
O agregador é composto por um computador industrial embarcado (padrão SBC – *single board computer*), projetado para suportar variações de temperatura de -0°C a 60°C , umidade relativa de 0% a 90% e prover alimentação elétrica (em diferentes níveis de tensões) para todos os acessórios necessários para medição elétrica.

O agregador conta com uma interface homem-máquina feita através de uma tela sensível ao toque de 10.1 polegadas e a resolução gráfica da aplicação é 1280x800 pixels. O consumo de energia do sistema é, em situações normais, inferior a 20W.

Em relação à construção do equipamento, na estrutura externa é feita de material metálico, utilizando chapas de alumínio cortadas a laser e dobradas, garantindo um gabinete resistente e durável adequado para trabalho em campo. Quanto à estrutura interna, por sua vez, é fabricada com impressora 3D com material de plástico de PDA. Estas estruturas proporcionam suportes de fixação e encaixe de todas as peças internas ao agregador (SBC, fonte, display, memórias etc.).

Todo o projeto mecânico foi personalizado para esta pesquisa e foi feito usando o software Autodesk Fusion 360. Figura 3 ilustra o projeto em computador.

Figura 3- Projeto interno do agregador por dentro.



Fonte: O autor.

Ligado ao agregador tem-se uma unidade de aquisição de dados baseada em um osciloscópio portátil comercial [7]. A escolha por um osciloscópio comercial se deve a seu custo acessível, uma vez que se trata de elemento amplamente difundido, ainda que seu propósito para aquisição de sinais seja genérico. O osciloscópio digital utilizado para a aquisição dos dados (Hantek 6074BC – ver na Figura 4), possui uma conexão USB para a comunicação de dados, e quatro canais para aferição de sinais, oferecendo uma largura de banda de 70 MHz e uma taxa de amostragem de até 1GSa/s. Além disso, o dispositivo possui uma resolução de 8 bits, ou seja, o sinal aferido é convertido em pontos com níveis entre 0 e 255. Aos canais de entrada do osciloscópio, são ligados HFCTs (high Frequency current transformer) específicos para registro de coletas de DPs.

Adicionalmente, um software para ser executado no agregador foi criado usando a linguagem C# para comunicar as informações vindas do hardware de coleta (i.e., osciloscópio digital portátil) e mostrá-las, em tempo real, de maneira apropriada. Isso faz com que o agregador seja uma solução capaz de registrar sinais elétricos, inclusive de DP. As amostras medidas são armazenadas em um buffer de dados do sistema de aquisição e enviadas para o software do agregador para serem exibidas ao usuário e apresentando a forma de onda do sinal aferido.

Figura 4- Osciloscópio digital utilizado.



Fonte: O autor.

Para coletar informações de forma eficaz, foi desenvolvido um software em linguagem C++ que utiliza Dynamic Link Library (DLL). Aplicando-se esta DLL, o FPGA integrado ao osciloscópio podendo ser configurado através de uma conexão USB, com parâmetros necessários, como a escala de tensão, escala de divisão no tempo, quantidade de amostras por aquisição e nível de trigger.

Com o auxílio desse software, os usuários têm a capacidade de controlar e personalizar as configurações do osciloscópio, simplificando a captura do sinal. O resultado desse processo é um buffer de dados contendo as informações de todos os canais, o qual pode ser processado posteriormente por um algoritmo de análise. Essa abordagem viabiliza uma avaliação minuciosa dos sinais capturados, permitindo a interpretação precisa e confiável dos dados [8]. Tal enfoque proporciona ferramentas flexíveis para a realização de uma variedade de tarefas de medição e análise de sinais em diversas aplicações.

No âmbito de processamentos desses sinais, um algoritmo de segmentação é desenvolvido para segmentar padrões de DPs em seus principais componentes conectados, com o objetivo de usar esses segmentos posteriormente para extrair características distintivas necessárias para identificação e classificação de falhas.

A segmentação do sinal é a etapa que é comum em todos os sistemas de processamento, consiste na utilização de várias técnicas e métodos para dividir o sinal bruto em pequenos segmentos (também conhecido como janelamento) em função do tempo, conforme a Figura 5, para que possa ser extraídas informações que facilitam o seu uso durante o processo. Essa abordagem possibilita uma avaliação minuciosa dos sinais capturados permitindo uma interpretação precisa dos dados.

Figura 5- Processo de segmentação do sinal.



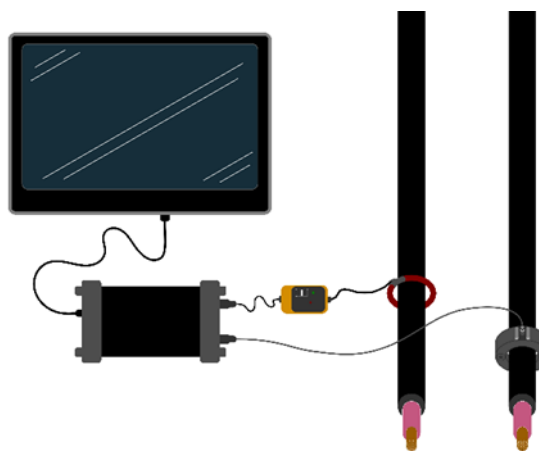
Fonte: O autor.

III. CONFIGURAÇÃO DOS TESTES

As medições de DPs foram realizadas em cabos média tensão em ambiente de laboratório, conforme ilustrado esquematicamente na Figura 6. O sistema de medição é representado pelo agregador, que é um computador portátil utilizado pelo usuário para análise dos dados. O agregador desempenha um papel crucial na aquisição de dados. Nele, é conectado o osciloscópio digital, utilizado para registrar os sinais adquiridos no ensaio experimental. Especificamente, um sensor de bobina Rogowski [9] também, é conectado a um dos canais do osciloscópio, o qual funcionará como o sinal de

referência de fase para registrar o sinal de 60Hz, enquanto os outros canais são ligados no sensor de DP baseado em HFCT.

Figura 6 – Sistema de medição de Descargas Parciais.



Fonte: O autor

O ensaio experimental utiliza-se um cabo defeituoso do tipo XLPE, com comprimento de 120 metros, 95mm² de seção e classe de tensão de 8.7/15 kV. Este cabo será empregado devido às suspeitas de que o seu defeito possa estar relacionado às descargas parciais. A Figura 7 mostra uma foto do ambiente de ensaios.

Figura 7 – Ambiente de ensaio.



Fonte: O autor

IV. MEDIÇÃO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O experimento é constituído por um cabo conectado a um dispositivo chamado “calibrador de pulso de DPs”. O objetivo desse dispositivo é gerar formas de ondas de DPs em cabo. A Figura 8 mostra um exemplo de sinal de DP gerado por este equipamento.

Figura 8 – Sinal de descarga parcial gerada pelo calibrador de pulso.



Fonte: O autor.

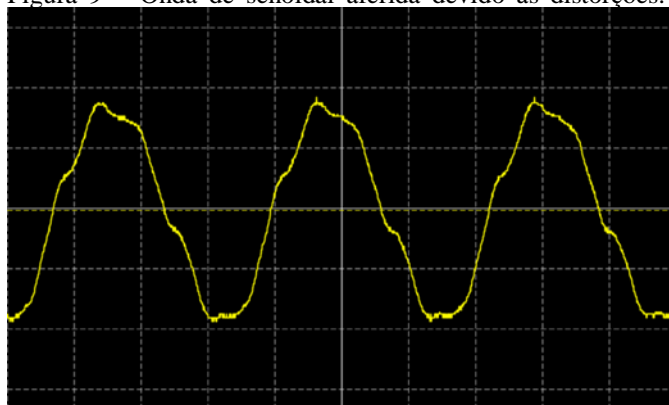
O calibrador de pulso é ligado à extremidade de um dos lados do cabo, enquanto a outra extremidade permanece desconectada, isso permite a captação das DPs que ocorrem ao longo do cabo. O HFCT, é utilizado e conectado ao osciloscópio digital.

A fase de referência do sinal (60Hz) é adquirida usando um sensor de Rogowski, que está monitorando uma fase da alimentação do cabo. Devido à presença de diversos dispositivos dentro do laboratório, como por exemplo, lâmpadas fluorescentes, computadores, aparelhos eletrônicos, sistemas de teste e um forno de alta potência, a forma de onda da medida de fase apresenta algumas distorções, como mostrado na Figura 9.

Ao aplicar um pulso de descarga de conhecidas características usando um dispositivo de calibração, tornou-se possível registrar a sua forma de onda no condutor por meio do sistema proposto. A Figura 8 ilustra um resultado parcial, onde nela é possível ver um pulso de descarga parcial, gerado pelo calibrador, no cabo em questão. Ainda, em azul, também se pode ver o sinal de 60Hz utilizado como referência para identificar em qual porção do ciclo senoidal aconteceu a descarga. O sinal de DP é registrado pelo HFCT e o sinal de 60Hz pelo Rogowski.

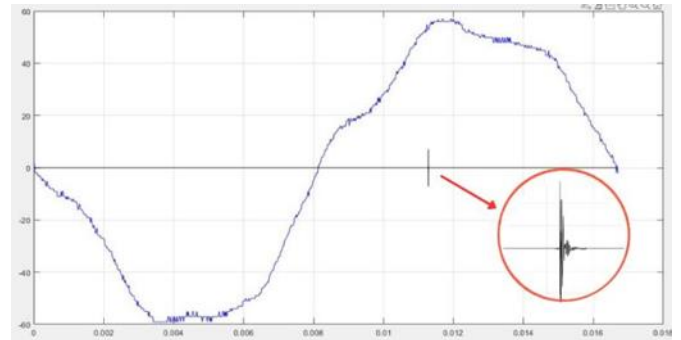
Quanto ao custo do sistema, este ficou inferior a US\$2.000,00. Um sistema comercial profissional consolidado no mercado geralmente tem custo superiores a US\$100.000,00

Figura 9 – Onda de senoidal aferida devido às distorções.



Fonte: O autor.

Figura 10 – Onda de 60Hz juntamente com o pulso de descarga utilizando o algoritmo.



Fonte: O autor

V. CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa consistia na criação de um sistema de medição de DP com a capacidade de adquirir e analisar informações relacionadas à DPs. Esse sistema foi desenvolvido com a finalidade de facilitar a avaliação da degradação do isolamento de cabos quando expostos a esse fenômeno.

Os testes conduzidos com o sistema, ainda que de maneira preliminar, demonstraram que o sistema proposto é capaz de registrar os pulsos de DP e o sinal de referência. Com esta ferramenta, e sua capacidade de registrar sinais, torna-se possível agora embarcar no software uma série de recursos para análise de sinais de DP que devem trazer mais inteligência e automatismo ao processo, e, especialmente, na avaliação das condições do dielétrico com base nas medições permitidas por este sistema aqui prototipado como prova de conceito.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao LRI – Laboratório de Redes Inteligentes - UFU, pela infraestrutura cedida para a realização deste trabalho. De maneira igual, os autores agradecem à Petrobrás, financiadora deste projeto, inscrito com o código FEELT.PETRO.001 através da Fundação de Apoio Universitário – FAU.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Liu, G. Zhang, J. Dong, J. Wang, "Study on miniaturized UHF antennas for partial discharge detection in high-voltage electrical equipment," *Sensors*, vol. 15, pp. 2943–2945, 2015. N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, *Power Electronics: converters, applications, and design*, John Wiley & Sons, 2ª Edição, Nova Iorque, 1995.
- [2] IV Sagunova, AA Stroganov, V. Losev, SI Gudkov e AVSolnyshkin, "Registro Acústico de Descarga Parcial no Isolamento de Equipamentos de Alta Tensão Usando Polímeros Piezoelétricos", Conferência IEEE 2020 de Jovens Pesquisadores Russos em Engenharia Elétrica e Eletrônica (EIconRus), São Petersburgo e Moscou,

- Rússia, 2020, pp. 2174-2177, doi: 10.1109/EIConRus49466.2020.9038942.
- [3] IEC Publication 270, Partial discharge measurement, 2nd edition, 1981.
- [4] DA Natrass, "Medição e interpretação de descarga parcial", na revista *IEEE Electrical Insulation*, vol. 4, não. 3, pp. 10-23, maio-junho de 1988, doi: 10.1109/57.830.
- [5] HO Mota e FH Vasconcelos, "Um sistema de aquisição de dados de descarga parcial baseado em osciloscópios digitais programáveis," IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Redescobrimo a medição na era da informática (Cat. No.01CH 37188), Budapeste, Hungria, 2001, pp. 994-999 vol.2, doi: 10.1109/IMTC.2001.928229.
- [6] E. Gulski, "Computer-aided measurement of partial discharges in HV equipment," in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 28, no. 6, pp. 969-983, Dec. 1993, doi: 10.1109/14.249370.
- [7] O. V. Golenko, S. V. Zhivodernikov and A. G. Ovsyannikov, "Registration experience of partial discharges in operating equipment with digital oscillograph," Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists. Modern Techniques and Technology. MTT'2000 (Cat. No.00EX369), Tomsk, Russia, 2000, pp. 39-41, doi: 10.1109/SPCMTT.2000.896035.
- [8] F. H. Kreuger, E. Gulski & A. Krivda, "Classification of partial discharges," *IEEE Trans. on Elect. Insul.*, Vol. 28, No. 6, pp. 917- 931, 1993.
- [9] MH Samimi, A. Mahari, MA Farahnakian e H. Mohseni, "Os Princípios e Aplicações da Bobina de Rogowski: Uma Revisão", no *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, não. 2, pp. 651-658, fev. 2015, doi: 10.1109/JSEN.2014.2362940.