

Sistema de Monitoramento Online de Para-raios de Óxido de Zinco Baseado na Medição da Corrente de Fuga

Suelson Lopes de Carvalho Batista
George Rossany Soares de Lira
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Campina Grande
Campina Grande, PB
george@dee.ufcg.edu.br

Vandilson Rodrigo do Nascimento Barbosa
Lenilson Andrade Barbosa
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Campina Grande
Campina Grande, PB

Resumo - Os para-raios de óxido de zinco são dispositivos essenciais na proteção de equipamentos dos sistemas elétricos de potência. Eles contribuem para a elevação da confiabilidade, economia e continuidade de operação dos sistemas elétricos. Por estarem conectados entre a fase e o terra, haverá uma corrente de fuga da ordem de miliampères, quando submetidos à tensão de operação. A corrente de fuga é um indicador do nível de degradação dos para-raios, a maioria das técnicas de monitoramento de para-raios de óxido de zinco é baseada na decomposição da corrente de fuga, sendo composta por uma componente capacitiva e outra resistiva. No entanto, esse método apresenta limitação técnica e prática, que é a necessidade de se obter uma amostra da tensão aplicada no para-raios, para realizar a decomposição da corrente. Neste trabalho é proposto um sistema de monitoramento online de para-raios de óxido de zinco baseado na medição e análise da corrente de fuga total, isentando-se assim da necessidade da medição da tensão aplicada no para-raios. O sistema de monitoramento é composto por módulos de aquisição, transmissão e processamento de dados. A aquisição e transmissão são realizadas por um sistema embarcado localizado no condutor de aterramento do para-raios e o módulo de processamento em computador remoto. O sistema de transmissão é baseado no padrão ZigBee. Testes em laboratório vêm sendo conduzidos e bons resultados foram alcançados até o momento.

Palavras-chave: corrente de fuga; monitoramento; para-raios; Zigbee.

I. INTRODUÇÃO

Devido à elevada não linearidade entre a tensão e a corrente, o para-raios pode atuar em três regiões: baixa corrente, alta não linearidade, e alta corrente. Em regime normal de operação a corrente de fuga do para-raios encontra-se na região de baixa corrente. Nessa região a corrente é composta de uma componente capacitiva e outra resistiva, sendo a componente capacitiva predominante. Para um para-raios em bom estado, a componente resistiva da corrente de fuga representa cerca de 5% a 20% da componente capacitiva [1], [2]. Os para-raios operam nessa região praticamente toda sua vida útil (estimada em 30 anos).

Por ser um bom indicador do estado de degradação do para-raios, praticamente todos os equipamentos comerciais utilizados para monitoramento de corrente de fuga em para-raios de óxido de zinco (ZnO) visam monitorar o comportamento da componente resistiva, a qual corresponde a cerca de 10% da

corrente de fuga total, dessa forma caso haja um aumento dessa componente, é provável que as pastilhas de ZnO estejam danificadas [4], [5].

Apesar da componente resistiva da corrente de fuga ser um bom indicador do nível de degradação dos para-raios de ZnO, sua medição em campo é complexa devido à necessidade de se realizar a medição da tensão aplicada no para-raios [3], [6]. Sendo assim, o sistema proposto baseia-se na medição e análise da corrente de fuga total, pois estudos recentes demonstraram que é possível diagnosticar o para-raios quanto à existência ou não de defeitos, e caso esteja defeituoso, qual tipo de defeito característico, analisando apenas a corrente de fuga total [3], [7].

O sistema proposto contará com unidades de entrada, condicionamento, processamento, transmissão e recepção de dados. Cada unidade será detalhada mais à frente. Testes em laboratório foram realizados com o objetivo de demonstrar a viabilidade do sistema de monitoramento. Resultados semelhantes àqueles obtidos com sistemas típicos de medição foram encontrados.

II. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS PARA-RAIOS DE ZnO

A principal característica do para-raios ZnO é a sua alta não linearidade entre tensão e corrente (curva V-I) Fig. 1. Esta característica representa um avanço em relação aos para-raios convencionais a carboneto de silício (SiC), pois diferente do que ocorre com o SiC, essa característica permite sua conexão direta com o sistema elétrico gerando apenas uma corrente de fuga na faixa de miliampères em condições normais de operação, ou seja, quando estiver em Máxima Tensão de Operação Contínua (MCOV) [8], [9], [10]-[13].

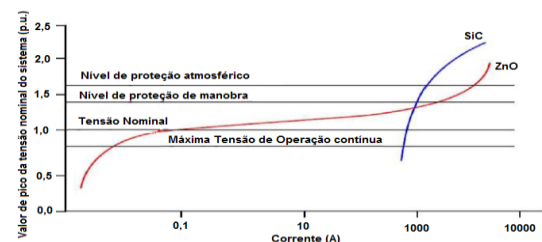


Fig. 1. Curva característica típica de um para-raios de ZnO e SiC.

Na Fig. 2 são apresentadas formas de ondas típicas da corrente de fuga total medidas em laboratório, em para-raios do tipo estação com tensão nominal 96 kV_{RMS}, quando energizados a uma tensão MCOV de 76 kV_{RMS}. A forma de onda em vermelho corresponde a corrente em um para-raios em bom estado de operação, enquanto a curva em azul corresponde a corrente em um para-raios com umidade interna. Conforme se pode observar, a corrente de fuga total altera-se tanto em forma quanto em amplitude em função do estado operativo do para-raios. Esta constatação é base para operação do sistema de monitoramento apresentado neste trabalho.

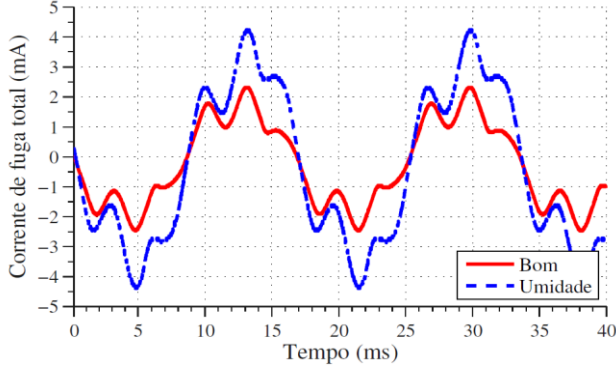


Fig. 2. Formas de onda da corrente de fuga total em para-raios em bom estado de operação e com umidade interna [3].

III. SISTEMA DE MONITORAMENTO SEM FIO DA CORRENTE DE FUGA EM PARA-RAIOS DE ZNO

O sistema de monitoramento é composto por diversos módulos/unidades, os quais desempenham funções específicas e determinadas. A Fig. 3 apresenta o diagrama de blocos do sistema proposto.

A unidade de entrada é responsável por realizar a aquisição do sinal da corrente de fuga total, assim como, da temperatura ambiente, a qual pode ser utilizada para fins de compensação dos sinais medidos.

Na unidade de condicionamento são realizados os ajustes necessários (retificação, integração, etc.) aos sinais de corrente para que eles possam ser processados.

A unidade de processamento tem como atribuições principais coordenar a leitura, digitalização, armazenamento e envio de dados.

A unidade de transmissão é responsável por enviar, via rede de dados sem fio (padrão *ZigBee*), os dados recebidos.

A unidade de recepção, por fim, possui a finalidade de receber os dados enviados através da rede sem fio e armazená-los em base de dados para posterior análise.

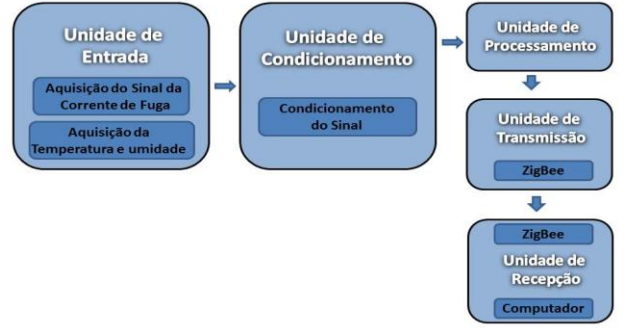


Fig. 3. Diagrama de blocos do sistema de monitoramento da corrente de fuga total.

A. Unidade de Entrada

O circuito de aquisição da corrente de fuga é composto por um transformador de corrente (T.C.), núcleo toroidal composto por liga nanocristalina denominado N3E3 [2], [14].

Conectado ao T.C., utilizou-se um amplificador diferencial de instrumentação (INA 114), específico para amplificação de sinais de pequenas amplitudes e que permite a rejeição de ruído em modo comum.

A lei de Ampère estabelece que a integral de linha da intensidade de campo magnético H , em qualquer percurso fechado é exatamente igual à corrente enlaçada pelo percurso, sendo assim, com H constante, integra-se a parcela ao longo do caminho, o comprimento da circunferência l é dado pelo produto entre 2π e o raio médio r do núcleo toroidal, conforme (1):

$$\oint H \cdot dl = H 2\pi r = I_T. \quad (1)$$

De acordo com a lei de Faraday, (2) e (3) mostram que a tensão induzida no núcleo (Vs) é proporcional a derivada do fluxo magnético e pelo número de espiras N_2 do secundário do transformador de corrente:

$$V_s = N_2 \frac{d\phi}{dt}, \quad (2)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = A \frac{dB}{dt} = \mu A \frac{dH}{dt}. \quad (3)$$

A derivada do fluxo magnético é igual à área A da secção transversal do núcleo, multiplicada pela derivada da densidade de fluxo magnético B , aplicando a lei de Ampère:

$$H = \frac{N_1 I_T}{l}. \quad (4)$$

Derivando a expressão (4), obtém-se (5):

$$\frac{dH}{dt} = \frac{N_1}{l} \frac{dI_T}{dt}. \quad (5)$$

Substituindo-se (5) em (3) obtém-se (6), que mostra a dependência do fluxo magnético com a corrente:

$$\frac{d\phi}{dt} = \mu A \frac{N_1}{l} \frac{dI_T}{dt}. \quad (6)$$

Na saída do integrador haverá uma tensão diretamente proporcional a corrente de fuga que circula no para-raios. Isso ocorre, pois a corrente de fuga I_T de pequena amplitude que circula pelo para-raios induz no núcleo toroidal uma tensão proporcional ao fluxo magnético concatenado. Por esse motivo que é utilizado um integrador.

Após o circuito integrador utilizou-se um amplificador para elevar esse sinal, melhorando assim a sua resolução. Na Fig. 4 é mostrado o diagrama elétrico utilizado na implementação do circuito de aquisição da corrente de fuga do para-raios de ZnO.

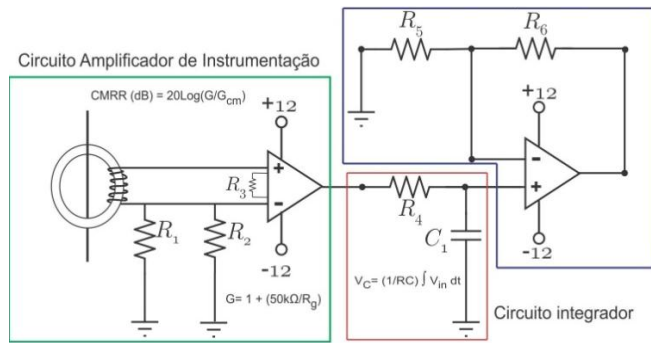


Fig. 4. Diagrama esquemático da unidade de entrada.

Os componentes do sensor de corrente são ajustadas de forma a ter a relação desejada da tensão proporcional a corrente. Assim, utilizou-se uma proporção de 1 V_{RMS} para cada 1 mA na saída do circuito. O sinal obtido na saída do circuito apresenta *offset* devido à influência do ambiente e aos amplificadores operacionais, na intenção de eliminá-lo utilizou-se um filtro passa altas melhor explicado na seção de condicionamento.

Para a aquisição da temperatura foi utilizado o sensor DHT11 que oferece saídas digitais calibradas para temperatura e umidade. O sensor foi conectado ao sistema de processamento, já que temperatura e umidade são variáveis importantes no diagnóstico dos para-raios.

B. Unidade de Condicionamento

O conversor A/D de um microcontrolador pode operar numa faixa de 0 a 5 V na entrada, sabendo que todo A/D possui uma referência inferior e superior para operar, sendo os valores citados os mais empregados. O sinal adquirido na saída da unidade de entrada é composto de uma parte negativa, contendo várias passagens pelo zero, o que dificulta a recuperação dos dados se usar um retificador de sinal. Então para resolver este empecilho foi criado um circuito de condicionamento que recebe o sinal da unidade de entrada, explicada no tópico anterior, então passa por um filtro passa altas, na intenção de eliminar ruídos e nível C.C., e em seguida é acres-

cido o valor necessário para condicionar o sinal ao nível de tensão que o microcontrolador suporta.

Na Fig. 5 é possível visualizar o circuito elétrico da unidade de de condicionamento. O circuito além do filtro supracitado possui ainda um seguidor de tensão para isolar o sinal, o CI7805 e um divisor de tensão para condicionar ao nível de tensão apropriado, para que o sinal esteja na margem de tensão aceitável pelo microcontrolador, e um circuito somador para somar o sinal filtrado com o nível C.C. desejado.

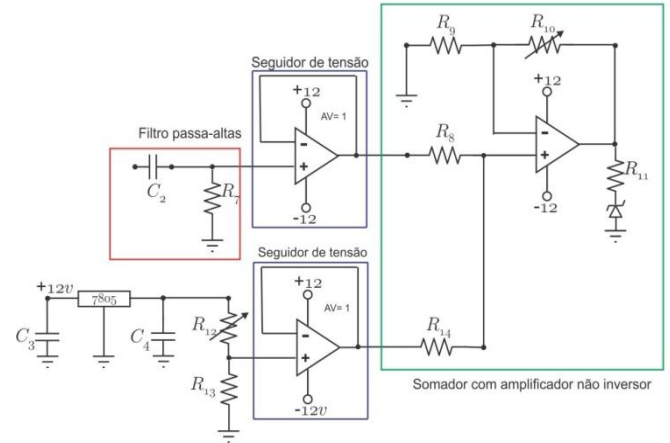


Fig. 5. Diagrama esquemático da unidade de condicionamento.

C. Unidade de Processamento

A unidade de processamento é onde os dados são lidos, armazenados e enviados. Através do conversor analógico/digital (A/D) do microcontrolador, a corrente de fuga é armazenada na memória interna e após o comando esses dados são enviados por um sistema sem fio melhor explicado no sistema de transmissão na seção seguinte.

Ainda nessa unidade é feita a leitura da temperatura e umidade proveniente da unidade de entrada, informada a data e hora através de um RTC e apresentada a informação do processo em um LCD (*Liquid Crystal Display*, Tela de Cristal Líquido).

No microprocessador são executadas basicamente operações lógicas, aritméticas e de controle, sendo que outras operações são executadas por circuitos externos a ele, chamados de circuitos acessórios. Estes circuitos acessórios têm como funções, por exemplo: executar operações de leitura de informações de dispositivos de entrada de dados e transmissão de informações para dispositivos de saída de dados. O microcontrolador utilizado nesse projeto é o PIC 18F452, que contém os requisitos necessários.

Outro dispositivo que foi acrescido ao sistema de processamento foi o RTC (*Real Time Clock*, Relógio em Tempo Real). O dispositivo utilizado foi o DS1302 que é um relógio/calendário serial de baixo custo controlado por um cristal externo de 32,768 kHz. Como o objetivo do projeto é criar um banco de dados a partir do monitoramento do para-raios, a data e hora em que as leituras estão sendo realizadas são de suma importância. A comunicação com o DS1302 é através de interface serial I2C.

Para fazer a visualização no local (*in loco*), foi incorporado ao sistema um display LCD 16x2, dessa forma, é possível ter acesso às informações como data, hora, temperatura, umidade, indicadores de leitura e impressão dos dados que estão sendo executadas em tempo real.

D. Unidade de transmissão

Optou-se pela transmissão de dados utilizando um sistema de comunicação sem fio. Os módulos de comunicação sem fio *XBee* baseados na tecnologia *ZigBee* permitem a implementação relativamente rápida e com um baixo consumo de energia de uma rede de sensores sem fio.

ZigBee IEEE 802.15.4 foi desenvolvida pela *ZigBee Alliance* junto com o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). A rede de sensores desenvolvida além de permitir o acompanhamento em tempo real da corrente de fuga dos para-raios de ZnO, possibilita que o operador da sala de controle da subestação visualize a forma de onda da corrente de fuga, assim como, os valores numéricos das grandezas de interesse.

Utilizou-se os módulos *XBee-pro* devido ao seu alcance de 90 m interno e 3200 m externo, operando em 2,4 GHz, e facilidade de implementação e o baixo consumo de energia, tornando-se apropriado para aplicações portáteis. Pode-se observar a partir da Fig. 6 o módulo utilizado.



Fig. 6. Módulo de comunicação *Xbee-pro* baseado na tecnologia *Zigbee*.

Para o sistema de monitoramento presente, foi necessário configurar os módulos *Xbee* para dispositivo final e coordenador, os quais são módulos acoplados ao sistema embarcado localizado no cabo de aterramento do para-raios e ao computador remoto, respectivamente.

Assim, fizeram-se, por meio do *software* X-CTU, as configurações necessárias nos comandos *Sleep: Sleep Mode (SM)*, *Sleep Period (SP)*, *Number of Sleep Periods (SN)* e *Time Before Sleep (ST)*.

IV. VALIDAÇÃO DO SISTEMA

A validação em laboratório do sistema proposto foi realizada por meio de comparações dos resultados obtidos a partir do sistema proposto, apresentado na Fig. 11 e aquele tipicamente empregado na medição de corrente de fuga total de para-raios. O ensaio necessário para a medição da tensão e corrente de fuga do para-raios foi realizado utilizando-se como referência o diagrama esquemático do arranjo experimental visualizado na Fig. 7. Um para-raios com tensão nominal de 72 kV e MCOV de 58 kV foi empregado nos testes.

No esquema típico de medição, a corrente de fuga total é medida indiretamente, através da queda de tensão do resistor

shunt, enquanto no sistema proposto a corrente é medida a partir da indução proporcionada pela passagem de corrente através do núcleo toroidal. Na Fig. 8 podem ser observadas as fotografias do kit de alta tensão e mesa de controle utilizados para realização do ensaio, além dos equipamentos utilizados na validação dos dados adquiridos, transformador, resistor, capacitor, para-raios, bem como a década, utilizada como resistor *shunt*, e o cabo por onde passa a corrente de fuga, passando por dentro do núcleo toroidal que faz parte do protótipo desenvolvido.

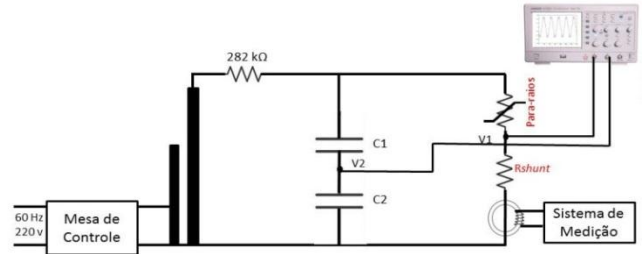


Fig. 7. Arranjo experimental utilizado para a medição de tensão e corrente de fuga no para-raios ZnO.

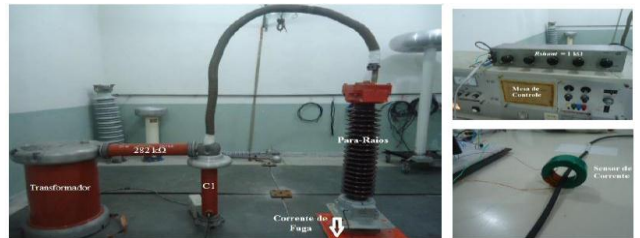


Fig. 8. Fotografias do arranjo experimental utilizado para a medição de tensão e corrente de fuga no para-raios ZnO.

Com o objetivo de reduzir efeitos indesejados como ruídos, interferências, nível C.C. e maus contatos, devido ao circuito montado em uma matriz de contatos (*protoboard*), confeccionou-se uma placa de circuito impresso Fig. 9.

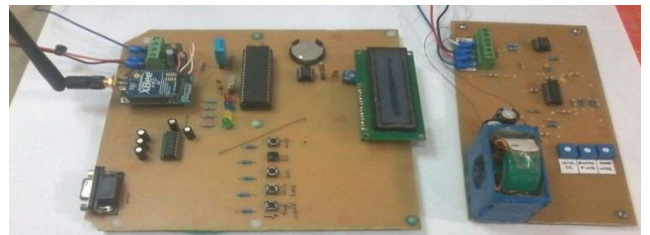


Fig. 9. Placa de circuito impresso do sistema de monitoramento.

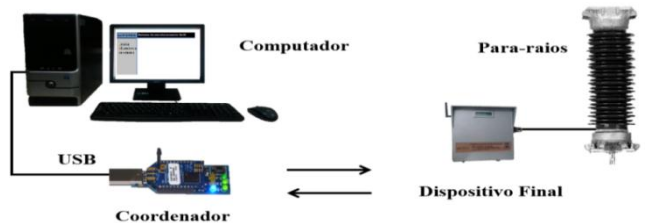


Fig. 10. Representação gráfica do sistema de monitoramento da corrente de fuga total do para-raios ZnO.

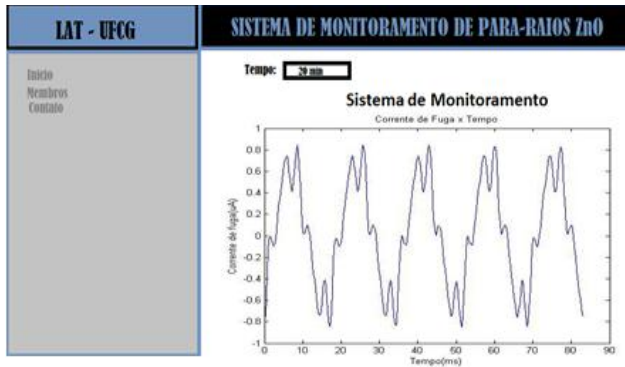


Fig. 11. Software do sistema de monitoramento da corrente de fuga do para-raios de ZnO.

V. RESULTADOS E ANÁLISES

A. Resultado da resposta em frequência do sensor de corrente

Devido a característica não linear do para-raios de ZnO sua corrente de fuga é composta por componentes harmônicas significativas.

Vários estudos reportam que a corrente de fuga total do para-raios pode ser decomposta em suas componentes harmônicas ímpares [15], [16], ou seja, na soma da 1ª, 3ª, 5ª, 7ª, 9ª,..., componentes harmônicas do sinal. Após a análise de trabalhos anteriores e de resultados obtidos em laboratório, constatou-se que os sinais de corrente de fuga total poderiam ser representados com boa exatidão por meio do somatório das suas 5 primeiras harmônicas ímpares. Portanto, o sensor de corrente deve responder de forma satisfatória para essas componentes harmônicas.

Visando escolher um ganho do amplificador de instrumentação que proporcione boa resposta de amplitude e frequências características da corrente de fuga do para-raios de ZnO, foi realizado um experimento em que a amplitude e a frequência de um sinal senoidal foram variadas. Vale ressaltar que a resposta obtida é do circuito como um todo e não apenas do núcleo toroidal. Na Fig. 12 é visualizada a resposta em amplitude e frequência do sensor de corrente.

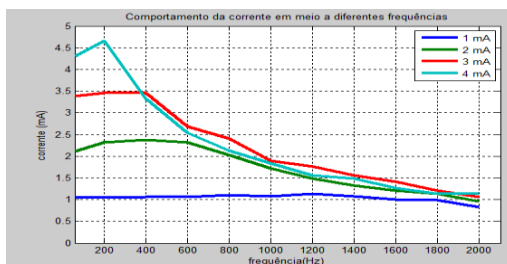


Fig. 12. Resposta em amplitude e frequência do sensor de corrente.

Percebe-se que a resposta em frequência é satisfatória até correntes de fuga total da ordem de 3,5 mA, não comprometendo suas principais componentes harmônicas.

B. Resultado do sistema de monitoramento da corrente de fuga do para-raios de ZnO

Após os ajustes necessários, de forma a se ter uma tensão de saída proporcional a corrente, com relação de transformação 1 V/1 mA e resposta de amplitude e frequência satisfatória, a etapa seguinte foi validar o sistema de monitoramento através da medição da corrente de fuga do para-raios com tensão nominal 72 kV e MCOV 58 kV. Para isso o para-raios foi submetido à MCOV, e a corrente de fuga foi medida utilizando o resistor *shunt* e o sistema de monitoramento desenvolvido simultaneamente. Nas Figs. 13, 14 e 15 são apresentadas formas de onda dos sinais de tensão e corrente aplicados e obtidos durante o teste de validação. Na Fig. 13 pode-se observar a forma de onda da tensão aplicada (na cor azul) e os sinais de corrente obtidos por meio do resistor *shunt* (na cor roxa) e pelo sistema de monitoramento (na cor amarela). Na Fig. 14 os sinais de corrente obtidos são sobrepostos com a finalidade de mostrar a concordância dos resultados fornecidos pelo método convencional e o proposto. Na Fig. 15 é apresentada a forma de onda do sinal corrente obtida no computador remoto do sistema de monitoramento.

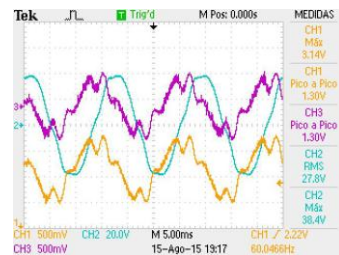


Fig. 13. Correntes *shunt*, monitor e tensão aplicada.



Fig. 14. Correntes *shunt* e monitor Sobrepostas.

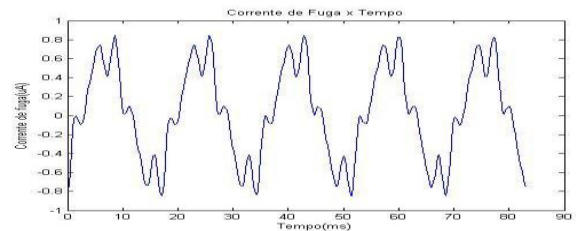


Fig. 15. Corrente de fuga medida pelo sistema de monitoramento.

Para uma análise mais precisa e confiável foi feito o cálculo do coeficiente de determinação R^2 . Esse coeficiente indica o quão próximo à forma de onda da corrente de fuga lida pelo sistema de monitoramento desenvolvido está da lida pelo resistor *shunt* (referência).

Ele é definido como sendo “um” menos a razão entre a soma quadrática dos erros entre sinais medidos e calculados (SSE) e a soma dos erros quadráticos com relação à média dos dados medidos (SST), de acordo com (7), (8) e (9):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}, \quad (7)$$

$$SSE = \sum_{j=1}^m [v_m(j) - v_l(j)]^2, \quad (8)$$

$$SST = \sum_{j=1}^m [v_m(j) - \bar{v}_m(j)]^2. \quad (9)$$

Foi obtido o seguinte valor do R^2 : 0,9991. Dessa forma, os resultados mostram a viabilidade e a confiabilidade do sistema de monitoramento da corrente de fuga dos para-raios de ZnO baseado na sua corrente de fuga.

VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de monitoramento da corrente de fuga do para-raios de ZnO. Em seguida o sistema foi empregado para a medição da corrente de fuga do para-raios de ZnO, cuja tensão MCOV é 58 kV. A corrente de fuga foi medida utilizando o sistema de monitoramento e através do uso de um resistor *shunt*, os resultados foram comparados. Notou-se que os resultados apresentados pelo sistema de monitoramento obtiveram alta similaridade com a corrente de fuga utilizando o resistor *shunt*.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Alta Tensão (LAT), por ter cedido o espaço físico e disponibilizado funcionários para auxiliar na realização dos experimentos.

A todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] ABDUL-MALEK, Z; AULIA, N. "A New Method to Extract the Resistive Component of the Metal Oxide Surge Arrester Leakage Current," presented at the 2nd IEEE Int. Conf. Power and Energy, Johor Baharu, Malaysia, 2008.
- [2] MACÊDO, E. C. T. Sistema de avaliação do nível de degradação de para-raios de óxido de zinco. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, (Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica), 2010.
- [3] LIRA, G. R. S. Monitoramento da corrente de fuga em para-raios de óxido de zinco com base na medição da corrente de fuga total. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, (Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica), 2012.
- [4] MATSUOKA, M. Nonohmic properties of zinc oxide ceramics. Jpn. J. Appl. Phys., v. 10, n. 6, p. 737–746, 1971.
- [5] HINRICHSSEN, V. Monitoring of high voltage metal oxide surge arrester. VI Jornadas Internacionales de Aislamiento Eléctrico, Bilbao, 22–23 October 1997.
- [6] IEC 60099-4. (2004-05): Surge arresters – Part 4: Metaloxide surge arresters without gaps for a.c. systems. ed. 2, 2004.

[7] IEEE Standard C62.11-2005. Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (>1 kV), 2005.

[8] PEREIRA, M.P, DRUMMOND, M. de "Modelagem de Para-raios de ZnO para Estudos de Sobreensões Transitórias", VIII SNPTEE, São Paulo, 1986.

[9] LIRA, G.R.S; COSTA, E.G., and C. W. D. Almeida, "Self-Organizing Maps Applied to Monitoring and Diagnosis of ZnO Surge Arresters." São Paulo, Brazil: Proceedings of the IEEE/PES Transmission and Distribution Latin America, 2010.

[10] SPELLMAN, C. A.; HADDAD, A. A Technique for On-Line Monitoring of ZnO Surge Arresters. 10th International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal, Canada, Agosto 1997.

[11] LIRA, G. R. S.; BRITO, V. D. S.; COSTA, E. G. Monitoramento de Para-Raios de ZnO a partir da Corrente de Fuga Total. In: Encontro Regional Ibero-americano do CIGRÉ, 2013, Foz do Iguaçu. Décimo Quinto Encontro Regional Ibero-americano do CIGRÉ, 2013.

[12] LIRA, G. R. S.; BRITO, V. D. S.; COSTA, E. G. Diagnóstico de Para-raios de Óxido de Zinco com Base na Medição da Corrente de Fuga Total. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012, Goiânia. SBSE - Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012.

[13] SILVA, W. A. B. ; LOPES, S. C. B. ; LEAL, G. B. ; LIRA, G. R. S. ; COSTA, E. G. ; MAIA, M. J. A. .Online Monitoring System of ZnO Surge Arresters Based on the Measured Leakage Current. In: International Symposium on High Voltage Engineering, 2015, Pilsen. 19th International Symposium on High Voltage Engineering, 2015.

[14] LIRA, J. G. A. Sistema de aquisição de dados para monitoramento e diagnóstico remoto das condições de para-raios de óxido de zinco. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, (Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica), 2007.

[15] SHIRAKAWA, S.; ENDO, F.; KITAJIMA, H.; KOBAYASHI, S.; KURITA, K.; GOTO, K.; SAKAI, M. Maintenance of Surge Arrester by a Portable Arrester Leakage Current Detector. IEEE Trans. Power Del., v. 3, n. 3, p. 998-1003, July 1988.

[16] LEE, B. H.; KANG, S. M. A New On-line Leakage Current Monitoring System of ZnO Surge Arresters. Materials Science and Engineering B, v. 119, n. 1, p. 13–18, 2005.

[17] ABB. High Voltage Surge Arresters – Product Guide. 1995.

[18] M. HEBEL, G. BRICKER, D. HARRIS, *Getting started with XBee RF modules: a tutorial for basic stamp and propeller microcontrollers*. Rocklin CA, USA: Parallax, 2010, p. 163.

[19] Digi International, *XBee/XBee-PRO ZigBee RF Modules User Guide: XBee2, XBee-Pro2, Pro S2B*. Minnetonka MN, USA: Digi International, 2015, p.198.