

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP-FEA-IEE-IF

MARCOS EDUARDO GUERRA ALVES

**METODOLOGIA PARA O DIAGNÓSTICO EM TEMPO REAL
DE PARA-RAIOS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

SÃO PAULO
2013

MARCOS EDUARDO GUERRA ALVES

**METODOLOGIA PARA O DIAGNÓSTICO EM TEMPO REAL DE PARA-
RAIOS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO E TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Energia e Ambiente / Instituto de Física) para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Hedio Tatizawa

Versão Corrigida

(versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2013

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO E REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Alves, Marcos Eduardo Guerra.

Metodologia para o diagnóstico em tempo real de para-raios em sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica./ Marcos Eduardo Guerra; orientador : Hedio Tatizawa. – São Paulo, 2013.

129f.: il.; 30 cm.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia) EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo

1. Para-raios. 2. Sistemas elétricos de potência.
3. Monitoração on-line I. Título

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP/FEA/IEE/IF**

MARCOS EDUARDO GUERRA ALVES

“Metodologia para o Diagnóstico em Tempo Real de Para-Raios em Sistemas de Distribuição e Transmissão de Energia Elétrica”

Tese defendida e aprovada pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Hedio Tatizawa – PPGE/USP
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani – PPGE/USP

Prof. Dr. Arnaldo Gakiya Kanashiro – PPGE/USP

Prof. Dr. Ruy Alberto Corrêa Altafim – EESC/USP

Prof. Dr. Josemir Coelho Santos – EP/USP

“Se fizéssemos todas aquelas coisas de que somos capazes, nós nos surpreenderíamos a nós mesmos”.

Thomas Alva Edison

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Hedio Tatizawa pela orientação, suporte e sugestões na elaboração e revisão do trabalho.

Ao Prof. Dr. Arnaldo G. Kanashiro pelos dados de ensaios que contribuíram para o refinamento deste trabalho e pelas sugestões no exame de qualificação.

Ao Prof. Dr. Geraldo F. Burani pelas sugestões no exame de qualificação.

Ao Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo por fornecer a estrutura e condições para a realização desse trabalho.

Ao meu tio Eduardo Pedrosa pelo incentivo, orientação e condições proporcionadas ao longo de muitos anos.

À Treotech Sistemas Digitais por propiciar as condições e o tempo para cursar as disciplinas, realizar as pesquisas e elaborar esse trabalho.

RESUMO

ALVES, M. E G. **Metodologia para o Diagnóstico em Tempo Real de Para-raios em Sistemas de Distribuição e Transmissão de Energia Elétrica**. 2013. 129f. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

Dada a importância dos para-raios para a proteção dos diversos equipamentos e instalações nos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica contra danos provocados por sobretensões transitórias, quer sejam originadas por descargas atmosféricas, quer por estabelecimento e interrupção de cargas reativas (sobretensões de manobra), é apresentada uma nova metodologia de diagnóstico de seu estado. São apresentadas também as formas construtivas dos para-raios com tecnologias de carboneto de silício (SiC) e óxido de zinco (ZnO), as quais são associadas a modelos elétricos de representação completos e simplificados, de forma a facilitar a análise dos métodos de diagnóstico. Os métodos atualmente empregados para o diagnóstico dos para-raios, tanto fora de serviço quanto durante a operação, bem como suas potencialidades e pontos falhos são explanados, para os equipamentos de SiC e de ZnO. O novo método de diagnóstico proposto nesse trabalho é introduzido a seguir, baseado na monitoração da capacitância equivalente e resistência equivalente do para-raio, juntamente com simulações dos diversos tipos de defeitos passíveis de ocorrência em equipamentos de SiC e ZnO, verificando-se os parâmetros de medição afetados por cada um deles, de forma a estabelecer a efetividade do novo método de monitoração para a detecção dos defeitos. Também é apresentado um método para viabilização da monitoração em tempo real de capacitância e de resistência equivalentes, através da técnica de soma vetorial das correntes de fuga, atualmente já empregada para monitoração de buchas capacitivas de transformadores e outros equipamentos. Por fim, são apresentados os resultados esperados com o novo método de monitoração e as sugestões de novas etapas para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Para-raios, Diagnóstico em tempo real, Monitoração contínua, Soma vetorial de correntes.

ABSTRACT

ALVES, M. E G. **Methodology for Real Time Diagnostic of Surge Arresters in Electric Energy Distribution and Transmission Systems**. 2013. 129f. Doctorate Thesis – Graduate Program in Energy of Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

Given the importance of surge arresters for the protection of several devices and installations in electric energy distribution and transmission systems from damages caused by transitory overvoltages, either originated from atmospheric discharges or by closing or opening of reactive loads (switching overvoltages), a new methodology for diagnosing their condition is presented. The constructive forms of surge arresters with silicon carbide (SiC) and zinc oxide (ZnO) technologies are presented, as well as their associated electric representation models, complete and simplified, so as to facilitate the analysis of diagnostic methods. Surge arrester diagnostic methods are presented, both off-line and on-line, together with their potentialities and weak points, for SiC and ZnO arresters. The new diagnostic method proposed in this work is introduced next, based on monitoring of the arrester equivalent capacitance and equivalent resistance, followed by simulations of the several possible defect types in SiC and ZnO devices. The measured parameters affected by each defect type are checked in order to establish the effectiveness of the new monitoring method for the detection of arrester problems. A method for making the monitoring of equivalent capacitance and resistance is also presented, by using the vector sum of leakage currents technique, largely used for monitoring of capacitive bushings in power transformers and other equipment. Finally, the results expected with the new monitoring method and suggestions for future work are presented.

Keywords: Surge arresters, Real time diagnostic, On-line monitoring, Vector sum of currents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática da construção de um para-raio de SiC. Fonte: (6).....	25
Figura 2 – Representação esquemática da construção de um para-raio de ZnO. Fonte: (8), adaptada.....	28
Figura 3 – Curva tensão-corrente resistiva típica de um para-raio de ZnO de 420 kV. Fonte: (8), adaptada.....	28
Figura 4 – Modelo elétrico representando um para-raio de SiC em regime permanente	31
Figura 5 – Modelo elétrico simplificado de um para-raio de SiC em regime permanente	32
Figura 6 – Modelo elétrico reduzido de um para-raio de SiC em regime permanente	32
Figura 7 – Modelo elétrico representando um para-raio de ZnO em regime permanente	35
Figura 8 – Modelo elétrico reduzido de um para-raio de ZnO em regime permanente	36
Figura 9 – Princípio de operação do sensor de temperatura passivo. Fonte: (35), adaptada	41
Figura 10 – Corrente de fuga resistiva em relação à tensão nos terminais de um para-raio. Fonte: (13), adaptada.	43
Figura 11 – Erro na avaliação da corrente de fuga resistiva devido a harmônicos na tensão do sistema. Fonte: (13), adaptada.	46
Figura 12 – Modelos elétricos de um para-raio de SiC em regime permanente. (a) Modelo simplificado; (b) Modelo reduzido.	56
Figura 13 – Configuração interna dos para-raios do fabricante B. (a) Conjuntos de centelhadores e blocos de SiC em série; (b) Detalhe de um conjunto de centelhadores. Fonte: (6).....	58
Figura 14 – Modelo elétrico dos para-raios de SiC do fabricante B ensaiados na referência (6).	59

Figura 15 – Suporte do resistor de equalização quebrado encontrado durante inspeção interna do para-raio B3. Fonte: (6).....	60
Figura 16 – Conjuntos de centelhadores quebrados encontrado durante inspeção interna do para-raio B5. Fonte: (6).....	60
Figura 17 – Para-raio de SiC do fabricante B (6) com um resistor de equalização desconectado	61
Figura 18 – Curva V-I dos resistores de equalização 1, 5 e 6 do para-raio B5. Fonte: (6).....	63
Figura 19 – Modelos elétricos de um para-raio de ZnO em regime permanente. (a) Modelo completo; (b) Modelo reduzido.	70
Figura 20 – Alteração da curva V-I de para-raios de ZnO. Fonte: (27).....	71
Figura 21 – Tangente Delta dos blocos de ZnO.....	74
Figura 22 – Alteração na região linear da curva V-I de para-raios de ZnO após estresse. Fonte: (37)	79
Figura 23 – Correntes de fuga capacitiva e resistiva em um para-raio energizado....	83
Figura 24 – Correntes de fuga de três para-raios em um sistema trifásico e sua somatória. (a) Para uma dada condição inicial; (b) com alteração na capacitância e resistência equivalentes do para-raio da fase A.....	84
Figura 25 – Correntes de fuga totais e corrente somatória para a condição inicial (vermelho) e após redução da resistência equivalente do para-raio da fase C...	92
Figura 26 – Detalhe ampliado da variação na corrente somatória devido à redução da resistência equivalente do para-raio da fase C	93
Figura 27 – Tensões fase-terra, correntes de fuga totais e somatória para a condição inicial (vermelho) e após desconexão de um, dois ou três resistores de equalização na fase A.....	101
Figura 28 – Detalhes da variação na corrente somatória devido às alterações da resistência equivalente do para-raio da fase A	101
Figura 29 – Tensões fase-terra, correntes de fuga totais e corrente somatória para a condição inicial (vermelho) e após alteração de 40 % e 80 % em um resistor de equalização no para-raio da fase C	106

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

