

Influência do Efeito Corona na Calibração de Divisor de Alta Tensão em Corrente Alternada

Influence of Corona Effect in the Calibration of Alternating Current High Voltage Divider

Orsino Borges Filho, Patricia Cals de Oliveira Vitorio, Leonardo A. Abreu de Souza, Gustavo Soares Martins e André Luis dos Santos Firmino

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro

E-mail: oboliveira-pronametro@inmetro.gov.br

Resumo: Neste trabalho são apresentadas informações sobre experimentos realizados no Laboratório de Metrologia de Alta Tensão do Inmetro (Lamat), para quantificar a influência do efeito corona na calibração de um divisor de alta tensão. Os resultados obtidos indicaram que o corona tem influência perceptível nos resultados da calibração e deve ser evitado quando se deseja minimizar ao extremo a incerteza na medição de alta tensão.

Palavras-chave: Divisor de tensão, Calibração em Alta Tensão, Efeito Corona.

Abstract: This work presents information on experiments carried out in the Inmetro's High Voltage Metrology Laboratory (Lamat) to quantifying the influence of corona effect in the calibration of a high-voltage divider. The obtained results allowed the conclusion that the corona has noticeable influence in the calibration results and shall be avoided when it is desired to minimize at extreme the uncertainty of a high voltage measurement.

Keywords: High voltage divider, Calibration under high voltage, Corona effect.

1. INTRODUÇÃO

O projeto de um divisor de tensão utilizado em sistemas de medição de alta tensão comumente considera a necessidade de um eletrodo de blindagem no seu topo [1]. Tal eletrodo, além de servir para controle de capacitâncias parasitas, têm a função de uniformizar o campo elétrico e minimizar assim a ocorrência de corona nos níveis de tensão mais elevados: ionização do ar em torno do eletrodo quando sua superfície é

submetida a um gradiente de tensão superior a um dado valor crítico [2].

Durante o processo de calibração de um divisor de alta tensão em corrente alternada, especificado para tensão máxima de 120 kV, realizado no Laboratório de Metrologia em Alta Tensão – Lamat, do Inmetro, observou-se que quando a tensão aplicada atingia níveis acima de 60 kV, surgia um ruído característico de efeito corona (Corona audível) [2]. Com base na

detecção audível, foi constatado que o corona tinha início no topo do divisor de tensão sob calibração, o qual não possuía eletrodo de blindagem adequado. Esse fato deu origem a uma investigação sobre a influência do efeito corona no processo de calibração do divisor por meio de experimentos adicionais ao processo de calibração. Para esses experimentos, foram adaptados eletrodos de blindagem no topo do divisor com a intenção de reduzir a ocorrência do efeito corona para tensões acima de 60 kV. Os resultados obtidos mostraram que o efeito corona tem influência quantificável na determinação do fator de escala do divisor de tensão. Nos casos analisados, observou-se que o valor do fator de escala variou mais em função da tensão quando houve a ocorrência de corona.

Nesse trabalho são apresentadas informações sobre o procedimento de calibração em alta tensão segundo a publicação IEC 60060-2 [3], o circuito utilizado e os resultados do trabalho realizado no Lamat, com análise e conclusões sobre a influência do efeito corona nas medições.

2. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO EM ALTA TENSÃO

O procedimento de calibração de sistemas de medição de alta tensão (SMAT) é estabelecido pela IEC 60060-2 [3], que é baseada na ISO/IEC GUIDE 98-3 [4], na parte de cálculo de incerteza. Segundo essa publicação, o procedimento preferencial para calibração de um SMAT é feito por comparação com um sistema de referência, conforme apresentado a seguir:

2.1 Fator de escala médio e incerteza do tipo A em um nível de tensão:

Um sistema de medição de referência (SMR) deve ser conectado em paralelo ao sistema de medição sob calibração (SMC). Medições simultâneas devem ser realizadas pelos dois sistemas. O valor da alta tensão obtido para cada medição feita pelo SMR é dividido pela

correspondente leitura no instrumento do SMC, para se obter o valor F_i do fator de escala. Essas medições são repetidas n vezes ($n \leq 10$), obtendo-se n leituras independentes, para se determinar o valor médio do fator de escala F_g do SMC em um determinado nível de tensão U_g . O valor médio F_g é dado por:

$$F_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{i,g} \quad (\text{eq. 1})$$

O desvio padrão relativo s_g de F_g é dado por:

$$s_g = \frac{1}{F_g} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (F_{i,g} - F_g)^2} \quad (\text{eq. 2})$$

e a incerteza padrão relativa do Tipo A (u_g) do valor médio do fator de escala F_g é dada por:

$$u_g = \frac{s_g}{\sqrt{n}} \quad (\text{eq. 3})$$

4.2 Fator de escala e incerteza do tipo B para uma faixa de tensão do sistema de medição:

O fator de escala para o SMC pode então ser determinado para uma faixa específica ou para toda a faixa de tensão na qual o SMC será qualificado.

Essa etapa da calibração inclui a determinação do fator de escala global a ser atribuído ao SMC e a análise de sua linearidade. A determinação do fator de escala F_g deve ser feita por comparação direta com o SMR nos níveis mínimos e máximos da faixa de tensão declarada para o SMC e, pelo menos, em três níveis aproximadamente igualmente distribuídos entre esses extremos. O fator de escala global F atribuído ao SMC é o valor médio dos valores F_g obtidos em “ h ” níveis de tensão, sendo $h \geq 5$:

$$F = \frac{1}{h} \sum_{g=1}^h F_g \quad (\text{eq. 4})$$

A incerteza padrão do fator de escala global F é obtida pela maior das incertezas do Tipo A calculadas para F_g em cada nível de tensão.

$$u_A = \max_{1 \leq g \leq h} u_g \quad (\text{eq. 5})$$

O efeito da não-linearidade de F é estimado como uma incerteza padrão do Tipo B, dada por:

$$u_{B0} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{1 \leq g \leq h} \left| \frac{F_g}{F} - 1 \right| \quad (\text{eq. 6})$$

Na calibração apresentada nesse trabalho, o fator de escala foi determinado somente para dois níveis de tensão dentro da faixa de medição do divisor. A análise de linearidade foi simplificada considerando somente os fatores de escala determinados nesses dois níveis: 60 kV e 120 kV, já que o interesse particular foi verificar a influência do corona, que ocorreu somente nessas tensões mais elevadas. Para tensões abaixo de 60 kV não foi detectado corona audível.

3. CIRCUITO DE CALIBRAÇÃO

O arranjo utilizado na calibração do divisor de alta tensão, feita em corrente alternada a 60 Hz, é apresentado na figura 1 e os eletrodos utilizados no topo do divisor estão na figura 2.

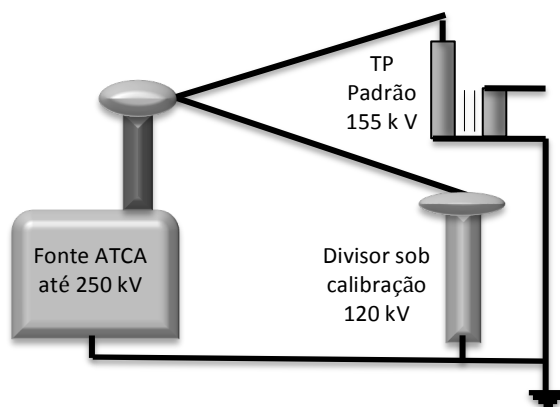


Figura 1 – Arranjo utilizado na calibração.

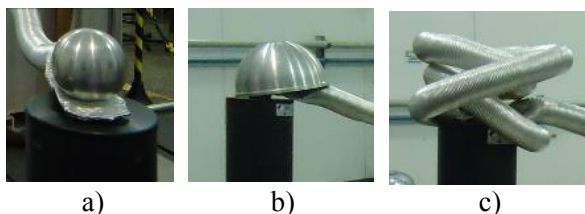


Figura 2 – Eletrodos de blindagem no topo do divisor. a) original, b) copo e c) tubo flexível

O divisor de tensão sob calibração é do tipo resistivo, com tensão de 0 a 120 kV, tanto em corrente alternada como contínua; resistência total de 320 M Ω (R_1+R_2); resistência de saída de 320 Ω (R_2); fator de escala nominal 1 kV/mV (1000000/1) e exatidão de 1,5 %.

4. RESULTADOS

Os resultados da análise da influência do efeito corona na calibração estão resumidos na Tabela 1 e figura 3, para as diferentes condições de corona obtidas com a variação proposital da forma do eletrodo adaptado no topo do divisor (figura 2). Foram realizadas 10 medições simultâneas em cada nível de tensão ($n=10$). Os valores de F , u_A e u_{B0} foram calculados pelas equações 4, 5 e 6, respectivamente.

5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

Um trabalho experimental, com três diferentes arranjos de eletrodos de blindagem no topo de um divisor de alta tensão, propiciou uma análise da influência do efeito corona nos resultados de sua calibração em alta tensão alternada.

Os resultados obtidos indicaram que o efeito corona afetou sobretudo a linearidade do fator de escala do divisor de tensão sob calibração, caracterizada pela incerteza do tipo B (figura 3). Para a condição de calibração sem corona, o fator de escala obtido pode ser classificado como linear, já que a incerteza padrão do Tipo B foi $u_{B0} = 0,04 \%$, ou seja, no mínimo, cerca de 10 vezes menor do que os valores de u_{B0} obtidos para os casos com corona.

Apesar da baixa resolução do instrumento de medição do sistema sob calibração, foi possível observar também a influência do efeito corona na dispersão dos resultados para cada nível de tensão, caracterizada pela incerteza do tipo A. Essa componente da incerteza foi maior nos casos com ocorrência de corona (tabela 1).

Tabela 1 –Influência do efeito corona na calibração: Fator de escala global, Incerteza do Tipo A (u_A), Linearidade: Incerteza do Tipo B (u_{B0}) e Desvio em relação ao Fator de escala nominal (Δ)

Eletrodo de Blindagem	Nível de Tensão (kV)	Corona Audível	Fator Escala Global (F)	u_A (%) máx	u_{B0} (%)	Δ % (*) ($F_{nominal}$)
Original	60	Início	977049,197	0,006	0,387	-2,295
	120	Intenso				
Copo	60	Sem	970446,579	0,014	0,725	-2,955
	120	Intenso				
Flexível	60	Sem	982526,720	0,002	0,040	-1,747
	120	Sem				

(*) em relação ao Fator de Escala Nominal do divisor: 1000000/1

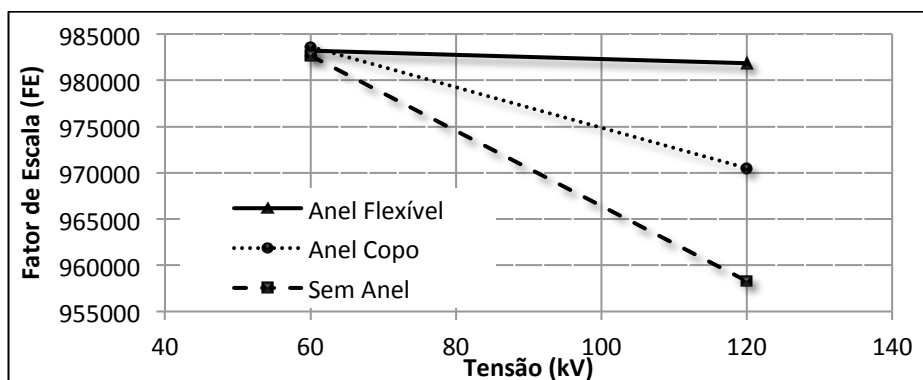


Figura 3 - Influência do efeito corona na linearidade do Fator de Escala do divisor

A característica de linearidade do divisor é considerada quando se adota um único fator de escala para toda a faixa de tensão ou para partes dela, fato comum em laboratórios industriais de ensaios em alta tensão. Para sistemas de medição de referência (SMR) utilizados como padrão de transferência ou de serviço em Institutos Nacionais de Metrologia ou em laboratórios acreditados, onde se busca minimizar a incerteza da medição ao extremo, o fator de escala é individualizado para determinados níveis de tensão e associa-se a cada fator de escala uma incerteza padrão. Nesses casos, a influência do efeito corona deve ser avaliada e inserida no balanço de incertezas. Mesmo assim, o corona deve ser evitado, por se tratar de um fenômeno essencialmente não linear e de difícil controle, pois além de depender de parâmetros tradicionais como temperatura, pressão e umidade, depende

também de outros parâmetros menos comuns tais como partículas ou protuberâncias na superfície dos eletrodos e número de elétrons livres no meio [2].

6. REFERÊNCIAS

- [1] High-Voltage Test and Measuring Techniques, Wolfgang Hauschild, Eberhard Lemke, Springer, 2014.
- [2] A Clearly Explained and Illustrated Story About Three Types of Corona ... , 2004 Hubbell Power Systems, Inc.
- [3] IEC 60060-2/2010: High-voltage test techniques - Part 2: Measuring systems
- [4] ISO/IEC 2008. GUIDE 98-3/Suppl.1. Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty ...