

Temperatura do reator eletromagnético HID em bancada

HID electromagnetic ballast temperature on the workbench

Elvo Calixto Burini Junior¹

¹ Instituto de Energia e Ambiente; E-mail: elvo@iee.usp.br

Resumo: A resistência elétrica do enrolamento no reator eletromagnético para iluminação com lâmpada a descarga elétrica de alta intensidade foi considerada em bancada e a temperatura final (T_e) determinada em experimento de longa duração. Foi verificada ampla variabilidade dos resultados o que indica necessidade de revisão na metodologia atual, principalmente em relação ao desligamento do reator para a medição da resistência elétrica, a quente. As determinações para T_e , ou ΔT , a partir do método de variação da resistência elétrica do condutor utilizado atualmente resultaram em faixa com dispersão superior a ± 5 °C.

Palavras-chave: Reator HID, método da variação da resistência elétrica, elevação de temperatura do enrolamento de reator eletromagnética.

Abstract: The electrical resistance of the electromagnetic ballast winding used for illumination with high intensity electric discharge lamp was sampled on the laboratory's workbench and the winding final temperature T_e was determined from a long duration experiment. It was verified a wide variability of the results which indicates a need for revision in the methodology, especially in relation to the instant after the shutdown of the reactor, in which the hot electric resistance must be determined. The determinations for T_e , or ΔT , from the method of variation of the electrical resistance of the conductor used today resulted in a range with dispersion higher than ± 5 °C.

Keywords: HID ballast, electric resistance variation methodology, ballast winding temperature rise.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho das lâmpadas a descarga em gases também as perdas elétricas dependem do tipo de reator. É sabido que a vida útil de um reator para lâmpada a descarga elétrica em gases é afetada diretamente na presença de calor, tendo por referência a temperatura do ambiente em espaço aberto (T_{amb}). A temperatura de funcionamento do enrolamento do reator (T_w) aumentará quando ele for colocado no interior de invólucro. No passado, as prescrições normativas fixavam para a

determinação da elevação de temperatura do enrolamento de reator eletromagnético (ΔT) a utilização de estufa onde o reator permanecia condicionado sob (40 ± 2) °C. Após realizada a leitura da resistência inicial do enrolamento principal o circuito deve ser energizado tendo como carga a lâmpada à descarga para qual se destina [1]. Imediatamente após o desligamento, utilizado circuito tipo ponte (Kelvin ou Wheatstone) ao menos três leituras de resistência elétrica devem ser realizadas num intervalo de até 30 segundos

após o desligamento, devendo ser atribuído para o cálculo da temperatura final do enrolamento a quente (T_e) o valor da resistência elétrica extrapolado a 5 s. O procedimento vigente indica, alternativamente, a realização da prática em bancada, espaço aberto e temperatura ambiente (t_{amb}), que os terminais de carga do reator devem ser colocados em curto-circuito e a energização feita na condição de corrente elétrica nominal [2, 3]. Atualmente, a leitura da resistência do enrolamento tem sido realizada a partir de multímetro (no IEE/USP, modelo HP 34401A, na condição de dois fios/terminais) em substituição ao equipamento tipo ponte. Está prescrita a utilização de três reatores/peças para o ensaio referido. Tem sido prática corrente, no lab. IEE/USP, a energização das três peças em circuito paralelo. Isso simplifica o circuito de controle, utilizando apenas um "variac" e amperímetro. A alteração no procedimento referido foi solicitada decorrente de supervisão, dado que não é possível dispor de corrente elétrica semelhante em cada reator, mesmo se houver pequena diferença na resistência elétrica dos reatores. Portanto, os reatores passaram a ser energizados individualmente, no caso do presente estudo sob 4,6 A (lâmpada a vapor de sódio a alta pressão - LVSAP) e 4,0 A (lâmpada a vapor metálico, halogenetos - MVM). Na determinação da resistência elétrica do enrolamento quando realizada em estufa [3], existe tolerância menor, de 2 °C para a variação da temperatura ambiente em relação a variação admitida para o ensaio em bancada, de 5 °C. Para fixar referencial, foi acessado relatório de ensaio sobre três peças, reator HID (do inglês, High Intensity Discharge), MVM 400 W, uso interno, onde está fixado para (ΔT) a média de 62,0 °C, sendo os valores individuais de: (62,59; 61,90; 61,64) °C. Para a parte experimental do presente trabalho a resistência elétrica do enrolamento de três reatores eletromagnéticos sem encapsulamento e para lâmpada HID foi amostrada repetidamente ao longo de dez horas e durante período de 5 meses. A elevação da temperatura em relação ao ambiente ($\Delta T = T_e - T_{amb}$) foi determinada conforme norma

técnica [1, 2, 3]. Uma variação não esperada nos dados coletados motivou a análise e revisão da metodologia: alteração no circuito de medição para quatro terminais/fios; a instalação de conectores soldados aos condutores terminais do reator (condutor do enrolamento: Alumínio); utilização de outros dois equipamentos para amostragem (marca AEMC, modelo 6250 e marca Megabrás, modelo MPK 204, *micro-ohmmeter*). A resistência inicial foi obtida por dois e quatro condutores, tendo sido o experimento conduzido com repetição. A temperatura média do ambiente foi mantida na faixa de (25 ± 2) °C, subtraindo T_{amb} de T_e a elevação fica determinada ($\Delta T = T_e - 25$) °C.

2. RESULTADOS

2.1 Amostragem com o HP 34401A (13/Out./2016)

A tabela 1 apresenta valores amostrados para a resistência elétrica inicial e final (sob corrente nominal de 4,6 A), equipamento modelo HP 34401A a dois condutores, ligação paralela dos 3 reatores (procedimento rotineiro no IEE) e a quatro condutores (alteração após supervisão).

Tabela 1 - Resistência elétrica (HP 34401A) inicial (R_i) e final (R_f), valores em (m Ω).

Resistência inicial/final e condição	Reator # 1	Reator # 2	Reator # 3
(R_i) 2 pontas	890	852	904
(R_i) 4 pontas	835	833	867
(R_f) 2 pontas	1181	1131	1121
(R_f) 4 pontas	1068	1087	1101

NOTAS: Data da amostragem 13/Out./2016; o reator # 1 possui núcleo com formato diferente; ambiente a 25 °C e umidade relativa 54 %.

A tensão elétrica de alimentação ficou ajustada em aproximadamente 180 V (para 4,6 A). A utilização de trafo elevador não ocorreu, o que possibilitaria a ligação série e a circulação de corrente elétrica única pelas três peças. A tabela 1 apresenta valores de resistência elétrica obtidas com o equipamento HP 34401A, $R_{i/f}$, para os 3 reatores, sendo que os valores são maiores para a condição de 2 pontas em relação a 4 pontas, o que já era esperado. A faixa de variação relativa entre a condição de duas e quatro pontas, para a R_i situou-se entre (2,3 a 6,6) % e para R_f entre (1,8 a 10,6) %. O reator # 3

apresentou faixa de variação da (R_i) entre 2 e 4 pontas maior que a faixa de variação ocorrida em R_f , sendo que para as demais peças ocorreu o oposto.

2.2 Resistência elétrica inicial, em 14/Out./2016

Foram realizadas repetições sistemáticas de leituras da resistência elétrica inicial (HP 34401A) para as três amostras durante período de dez horas. O resultado em ordem cronológica da realização está apresentado pela figura 1.

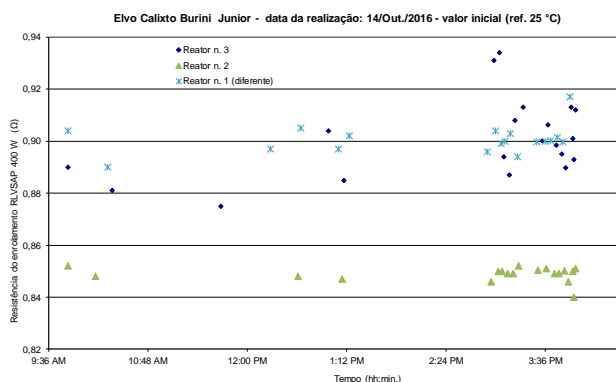


Figura 1 - Resistência elétrica inicial (HP 34401A) do enrolamento de três reatores, sem encapsulamento, conforme horário da leitura.

Para minimizar a dispersão alguns dos dados extremos (ver fig. 1) foram desconsiderados. Algumas hipóteses como “conexões frouxas” e omissão/erro, em particular, do instante em que houve a leitura da resistência a quente podem ter ocasionado a maior dispersão dos registros. A tabela 2 apresenta valores médios para a resistência elétrica inicial de cada reator sob corrente nominal 4,6 A, obtidos com o equipamento modelo HP 34401A e após o remoção de registros discrepantes, os quais numericamente se apresentavam mais distantes da média.

Tabela 2 - Valor médio da resistência elétrica inicial (R_i) do reator, valores em ($m\Omega$).

Resistência inicial e condição	Reator # 3 (n=19)	Reator # 2 (n=18)	Reator # 1 (n=19)
(R_i) 2 pontas	886 ± 17	849 ± 2	899 ± 4

Na figura 2 é apresentada a resistência elétrica inicial, estatisticamente tratada (14/Out./2016 e amostra não inferior a 14 registros/peça) para o

enrolamento dos três reatores HID, a dispersão associada (desvio padrão, quartil), valor médio, mediana, incluso registro que é considerado pouco provável (símbolo grafado na cor vermelha).

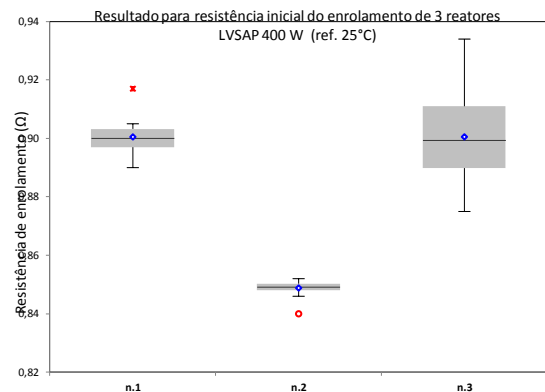


Figura 2 – Resistência elétrica inicial do enrolamento de três reatores sem encapsulamento.

Na Figura 2 a maior área em tom cinza, associada ao resultado da amostragem do reator n. 3 reflete a dispersão de registros individuais que também pode ser observada na Fig. 1. O valor médio (símbolo diamante) é superior a mediana (traço horizontal). O resultado para o reator n. 2 possui dispersão bastante reduzida e apresenta um registro pouco provável (abaixo, de 840 $m\Omega$). O resultado para o reator n. 1 apresenta a segunda menor dispersão, explicita registro acima da média (cor vermelha) também pouco provável (917 $m\Omega$), sendo a média numericamente semelhante aquela do reator n. 3. Não foi verificada fidelidade no registro do período transcorrido entre o desligamento do reator e a leitura da resistência final do enrolamento. Quando foi solicitado o acionamento de cronômetro no instante do desligamento observou-se ocorrência da primeira leitura transcorridos cerca de 16-17 segundos. Isto sugere que é possível ocorrer diferença (a menor) entre o resultado informado em relatório de ensaio acessado, cuja dispersão da média é reduzidíssima, (ΔT) 62,0 °C ($\pm 0,4\%$), e a situação real. A influência de um ambiente de referência, a 60 °C, também não tem registro sobre ter sido verificada.

2.3 Resistência elétrica, a partir Dez./2016

A leitura da resistência elétrica inicial foi realizada a partir de outros dois equipamentos, uma marca

AEMC, modelo 6250, a quatro condutores, tendo sido utilizada a condição de corrente elétrica: (1; 10; 100) mA e 1 A, esta última não é indicada por provocar aquecimento ao condutor; e o modo para medição de indutância. Uma amostra de registros para a resistência elétrica inicial de cada reator foi obtida a partir de um terceiro equipamento, marca Megabrás, modelo MPK 204 e escala de 100 mA (a quatro pontas ou Kelvin) apresentada na tabela 3.

Tabela 3 - Valor médio (e ICB 95%) da resistência elétrica inicial (R_i) do reator, sob 100 mA, equipamento MPK 204, valores em ($m\Omega$).

Resistência inicial e condição	Reator # 1 (n=4)	Reator # 2 (n=4)	Reator # 3 (n=5)
(R_i) 4 pontas	874 ± 9	857 ± 14	892 ± 34

Para outra amostra obtida com o MPK 204, em 06/Fev./2017, sem repetição, sob ambiente ($26,6 \pm 0,2$) °C e 100 mA, foram obtidos os valores de 878 $m\Omega$ (reator # 1) e 865 $m\Omega$ (reator # 2); com dispersão ou incerteza estimada de 3,8 %. Um compêndio dos resultados de temperatura final do enrolamento T_e , reator sob 4,6 A e 4,0 A está apresentado pela figura 3.

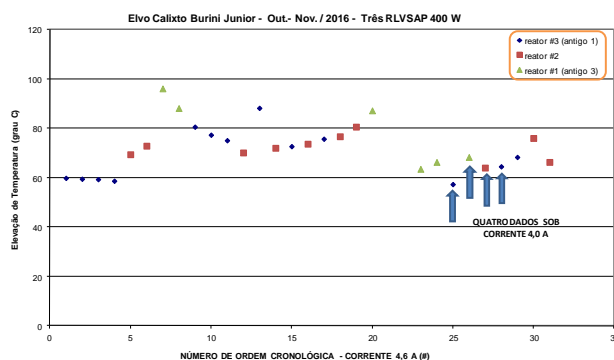


Figura 3 – A temperatura final (T_e) para três reatores na ordem cronológica das determinações.

Uma estimativa para a T_e e faixa de variação, considerada a resistência elétrica obtida por dois operadores foi (78 ± 7) °C, cujo desvio é superior ao limite normativo prescrito de ± 5 °C [4]. Foi calculado (α), (ou $K^{-1} = \Delta R / \Delta T$), e o resultado cotejado com ($\alpha_{20,Al}$ 391 $m\Omega/^\circ C$, à 20°C, dado teórico), a maior diferença relativa (teórico-calculado, n=26) foi de $\leq -13\%$.

3. CONCLUSÕES

Uma diferença significativa pode existir entre a temperatura do enrolamento e o valor que tem sido estimado devido à metodologia praticada. A medição da resistência de enrolamento cujo valor é utilizado no método para a determinação da elevação de temperatura de reator eletromagnético tipo HID, tem sido realizada no IEE/USP na condição de dois condutores, sendo o valor atribuído para a resistência final ou a quente em período superior aos 5 segundos prescritos: 16-17 segundos após o desligamento. No caso do equipamento 34401A, a diferença entre método de duas e quatro pontas revelou desvio relativo $\leq 6,6\%$ R_i e $\leq 10,6\%$ R_f . A incerteza que afeta a elevação da temperatura do enrolamento foi estimativa em 7 % (HP 34401A, duas pontas/condutores). A redução da incerteza poderá ser alcançada pela utilização do método de quatro pontos, com corrente elétrica acima de 1 mA, porém não superior a 15 % da corrente nominal para evitar alteração por aquecimento impróprio [5], isto ocorreu para instrumento na faixa de 1 A. A medição de resistência elétrica de enrolamento de reator VSAP 400 W pela utilização do multímetro HP 34401A e duas pontas/condutores não é recomendada e deve ser descontinuada. O método de quatro pontas (Kelvin) sob 100 mA, resultou em diferença no valor de 45 $m\Omega$, a qual representa desvio relativo de 5,4 % para o valor da resistência.

Agradecimentos - A CAPES pelo suporte parcial a partir do projeto binacional n.048/2013, a empresa REPUME pelas 3 amostras de reatores.

Referências

- [1] ABNT NBR 13594 - Reator e ignitor para LVSAP - Ensaio, 15p., 1996.
- [2] ABNT NBR 13593:2013 Reator para LVSAP – Especificação, 39p.
- [3] ABNT NBR 14305:2015 - Reator e ignitor para lâmpada a vapor metálico (halogenetos), 40p.
- [4] Portaria INMETRO n. 454, de 01/Dez./2010.
- [5] ABNT NBR 7569 - Reatores para sistemas de potência – Método de Ensaio, p.2, 1982.