

MEDIDA DO TEMPO DE RESPOSTA DE SENSORES DE TEMPERATURA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DO REATOR DA USINA NUCLEAR DE ANGRA I

Iraci Martínez Pereira Gonçalves* , Sergio Ricardo Pereira Perillo* Rubson Pereira da Silva**

*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, Brasil

**Furnas Centrais Elétricas - Departamento de Engenharia do Combustível Nuclear - DEN.N
Rua Real Grandeza, nº 219 - S/701 - Bloco C, Botafogo
22281 - 031, RJ, Brasil

RESUMO

O presente trabalho mostra os resultados de medidas de tempo de resposta dos sensores de temperatura do tipo RTD (Resistance Temperature Detector) ligados ao Sistema de Proteção da Usina Nuclear de Angra I. O método utilizado é o teste Loop Current Step Response - LCSR - ou teste de Resposta a um Degrau de Corrente. Este método permite determinar a constante de tempo do sensor levando-se em consideração todas as condições locais de temperatura vazão e pressão, pois é feito com o sensor instalado em seu local de operação normal, e com a usina em funcionamento. Os resultados obtidos foram coerentes quando comparados com valores de referência, embora tenham apresentado uma componente de ruído que resultou em valores altos de desvios.

I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é mostrar os resultados das medidas de tempo de resposta dos sensores de temperatura dos canais de proteção da Usina Nuclear de Angra I. Os sensores de temperatura existentes são do tipo RTD (Resistance Temperature Detector, ou termômetro de resistência) marca Rosemount, modelo 176 KS.

Esse trabalho é parte de um acordo entre o IPEN e FURNAS, para determinar o tempo de resposta dos instrumentos ligados ao Sistema de Proteção de Reator da Usina Nuclear de Angra I, onde serão realizadas medidas do tempo de resposta de sensores de temperatura e de pressão utilizando-se diferentes técnicas [1].

O conhecimento do tempo de resposta real dos sensores é antes de mais nada uma exigência da Comissão Nacional de Energia Nuclear que não aceitou que Furnas adotasse os mesmos valores típicos informados pela Westinghouse, construtora de Angra 1. Assim, valores realísticos avaliados periodicamente, permitem saber se os tempos máximos de atraso dos canais de instrumentação onde estão instalados os sensores não estão violando os respectivos critérios de aceitação.

Inicialmente é feita uma breve descrição do método "Loop Current Step Response" (LCSR), ou teste de

Resposta a um Degrau de Corrente, e da bancada de testes utilizada. A seguir são mostrados os resultados encontrados, com uma breve análise dos mesmos, e finalmente tem-se as conclusões.

II. TESTE DE RESPOSTA A UM DEGRAU DE CORRENTE

Definição. A constante de tempo de um sensor de temperatura do tipo RTD pode ser determinada utilizando o Teste de Imersão Rápida. Este teste é realizado em laboratório e consiste em fazer a imersão rápida do sensor num fluido mantido a uma temperatura constante causando uma perturbação em forma de degrau, e monitorar sua saída até que ele atinja a temperatura de estado estacionário. A constante de tempo é definida como o tempo necessário para o sensor atingir 63,2% do seu valor final após esse tipo de transiente. Como o Teste de Imersão Rápida é feito em laboratório, ele não reproduz com precisão as condições de transferência de calor que ocorrem em condições normais de operação do sensor, principalmente no caso de um reator nuclear, onde estas condições são diferentes daquelas encontradas em laboratório.

O Teste de Resposta a um Degrau de Corrente (Loop Current Step Response) foi desenvolvido para permitir a medida da constante de tempo de um sensor instalado no processo. Como o sensor de temperatura do tipo RTD consiste apenas em um resistor cuja resistência varia com a temperatura, a passagem de corrente elétrica através de seus terminais faz com que ocorra geração de calor por efeito Joule dentro do sensor. Assim, esse método permite causar um transiente em forma de degrau na temperatura interna do sensor.

Em termos de transferência de calor, pode-se dizer que no Teste de Imersão Rápida o calor é transferido do fluido para a resistência que existe no interior do sensor, e no Teste de Resposta a um Degrau de Corrente o calor é transferido da resistência para o fluido. Entretanto, desde que a resposta de interesse é aquela causada por uma mudança na temperatura do fluido de fora do sensor, é necessário transformar os resultados do teste de resposta a um degrau de corrente numa resposta equivalente a uma mudança na temperatura do fluido. Isto é feito através de uma transformação matemática dos dados obtidos no Teste de Resposta a um Degrau de Corrente, donde se obtém o valor da constante de tempo do sensor. Detalhes da transformação são encontrados nas referências [2] e [3].

Bancada Utilizada nos Testes. Para a realização dos testes foram utilizados os seguintes equipamentos (Fig. 1):

- maleta para os testes de LCSR
- registrador gráfico HP modelo 7090A
- década de resistores
- multímetro digital

A maleta contém um circuito eletrônico que tem por finalidade medir a variação da resistência do RTD e produzir o degrau de corrente. O projeto do circuito eletrônico foi baseado no trabalho de Kerlin [2], com algumas modificações de acordo com as necessidades e disponibilidades de material. O circuito eletrônico consiste basicamente em uma ponte de Wheatstone com chave seletora de corrente. A tensão da ponte é amplificada, e o sinal de saída fornece a variação da resistência do RTD em função do tempo. O amplificador acoplado à saída da ponte possui ganho ajustável. O acionamento da chave seletora de corrente é feito por um relé, que produz um degrau de corrente através dos terminais do RTD.

A saída de tensão da ponte amplificada vai para o registrador HP-7090A, obtendo-se gráficos de tensão em função do tempo, como resultado do teste LCSR. O registrador possui dois modos de operação: normal e "buffer", sendo que neste último o sinal é armazenado durante o transiente estipulado, e depois é feito o gráfico. A vantagem desse modo é que além de armazenar a curva, também são armazenados os valores de tensão e tempo dos pontos da curva. O modo "buffer" também é vantajoso para registrar transientes rápidos.

A década de resistores é utilizada junto ao circuito eletrônico para ajuste do zero da ponte de Wheatstone, e o multímetro é utilizado para verificações de resistência nos RTDs antes dos testes.

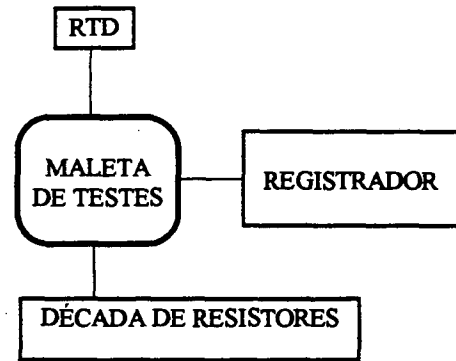


Figura 1. Esquema simplificado do experimento para realizar o teste LCSR.

III RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentadas as médias dos valores encontrados de constante de tempo dos testes para cada instrumento analisado, juntamente com os seus respectivos desvios.

TABELA 1. Constantes de Tempo dos RTDs

RTD	CONSTANTE DE TEMPO (s)	DESVIO (s)	DESVIO (%)
1	0,090	0,035	39
2	0,087	0,019	21
3	0,049	0,024	48
4	0,100	0,021	21
5	0,047	0,016	33
6	0,081	0,027	34
7	0,095	0,041	43
8	0,103	0,052	50
9	0,048	0,020	43
10	0,096	0,029	31
11	0,069	0,033	47
12	0,112	0,030	26
13	0,066	0,031	47
14	0,075	0,018	25
15	0,079	0,033	42
16	0,084	0,038	45
17	8,399	0,708	8
18	6,455	0,608	9
19	8,261	1,069	13
20	9,879	1,082	11

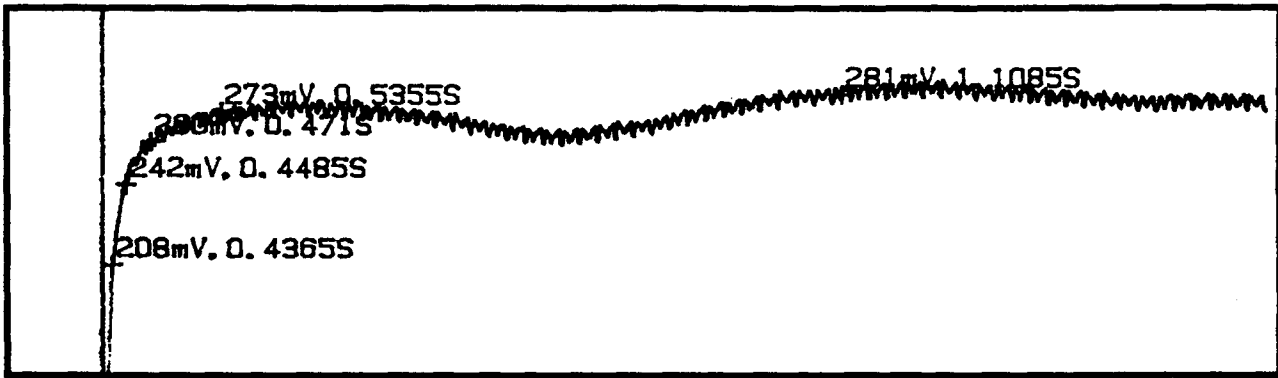


Figura 2. Curva resultante do teste LCSR feito no RTD 8 (instalado diretamente no processo).

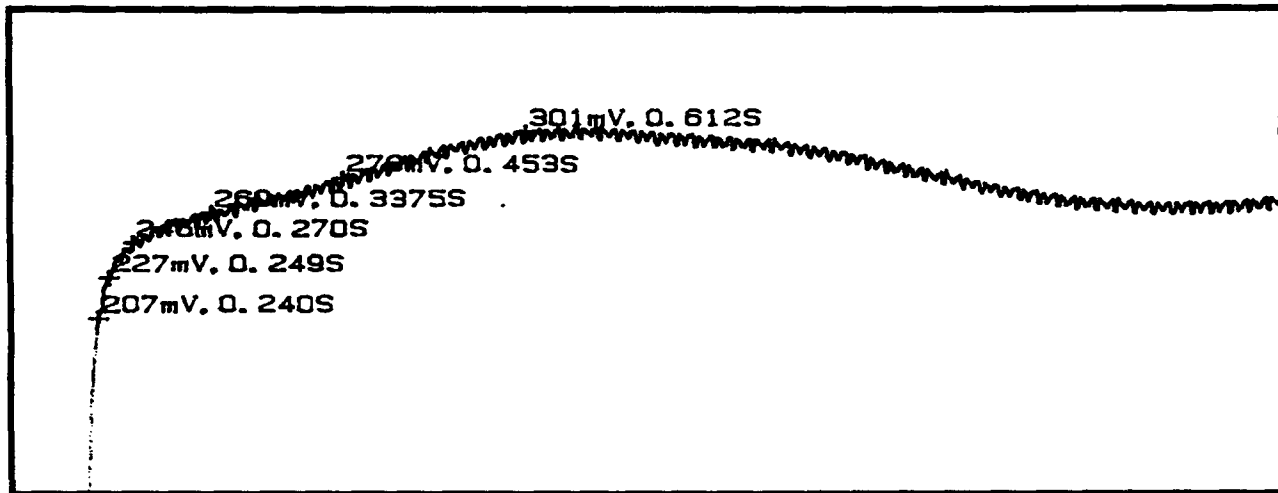


Figura 3. Curva resultante do teste LCSR feito no RTD 8 (instalado diretamente no processo).

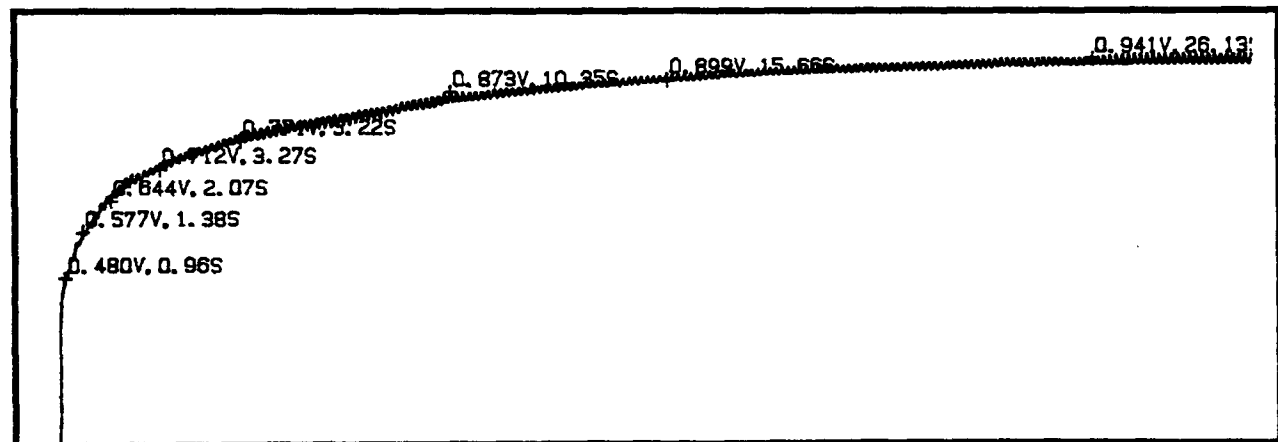


Figura 4. Curva resultante do teste LCSR feito no RTD 18 (instalado em poço termométrico).

Foram feitos testes LCSR em 20 sensores de temperatura, sendo que 16 (RTD 1 a 16 na Tabela 1) estão instalados diretamente na tubulação de processo, enquanto que os 4 restantes (RTD 17 a 20 na Tabela 1) estão instalados em poços termométricos. Estes são tubos de proteção feitos de aço inoxidável que podem ser rosqueados ou flangeados e instalados na linha de processo. O teste foi repetido de 5 a 10 vezes para cada sensor. Para cada teste foi obtida uma curva de tensão em função do tempo, a partir da qual determina-se o valor da constante de tempo. As figuras 2, 3 e 4 são apresentadas com a finalidade de ilustrar os resultados. Foram escolhidas duas curvas de um mesmo RTD que não está em poço, e uma curva de um RTD em poço.

Análise dos Resultados. Examinando a Tabela 1, verificamos que:

- 1) Os valores das constantes de tempo dos RTDs que estão instalados diretamente na tubulação (1 a 16) são da ordem de 100 ms, enquanto que os valores das constantes de tempo dos RTDs que estão instalados em poços (17 a 20) são da ordem de 8 segundos.
- 2) Os resultados dos sensores instalados diretamente na tubulação apresentaram fortes componentes de ruído, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3. Por esse motivo, os valores médios de constante de tempo apresentaram desvios de 21 a 50%. Esse ruído faz parte do processo e não do sistema ou técnica de medida utilizado, como pode ser concluído ao comparar os resultados dos RTDs sem poço e com poço.
- 3) Os resultados dos sensores instalados em poço não apresentaram a componente de ruído mencionada anteriormente. A curva mostra um comportamento crescente exponencial suave, (Fig. 4). Os desvios encontrados para estes sensores são de 8 a 13%.

Análise Detalhada do RTD n° 8. Até a data em que foram feitas as medidas, não se dispunha de um sistema de aquisição de dados adequado. Os testes foram feitos com a plotter HP-7090A no modo "buffer", de forma que o resultado era armazenado e depois registrado em papel. Alguns pontos sobre a parte inicial da curva eram então escolhidos e os seus valores registrados. Estes valores foram utilizados depois para a análise dos dados, quando se faz o ajuste das curvas obtidas. Por este motivo, em alguns casos, apenas poucos pontos da curva obtida em cada teste foram registrados.

Com a finalidade de se verificar se os altos desvios eram provenientes do parco sistema de aquisição de dados, foi feita uma análise detalhada para o pior caso, o n° 8. Para este sensor foram feitos 11 testes. Cada uma das curvas obtidas foi digitalizada com o auxílio de um "scanner", e depois analisada em um programa gráfico, onde foram determinadas as coordenadas de vários pontos da curva. Com esses pontos, foram refeitos os ajustes, e os resultados foram comparados com os obtidos inicialmente. A figura a seguir mostra duas curvas de um mesmo teste realizado nesse RTD. Uma das curvas tem apenas poucos pontos, obtidos durante o experimento, enquanto que a

outra curva possui vários pontos, obtidos da forma mencionada acima. A tabela a seguir mostra os novos valores de constante de tempo calculados, e compara com os valores anteriores.

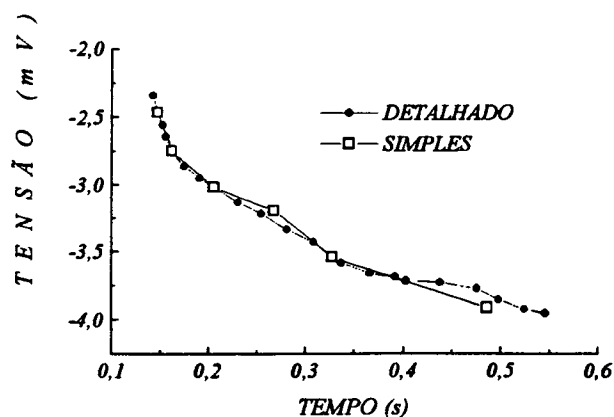


Figura 5. Curvas Obtidas a Partir dos Dados de um Teste LCSR.

TABELA 2. Comparação entre os Resultados da Análise Detalhada do Pior Caso.

teste n°	menos pontos		mais pontos	
	COEF.	t (s)	COEF.	t (s)
1	12,8166	0,078	12,3226	0,081
2	17,0658	0,059	13,2206	0,076
3	8,46228	0,118	7,59396	0,132
4	6,22415	0,161	6,40813	0,156
5	17,5153	0,057	12,4182	0,081
6	13,6712	0,073	11,5061	0,087
7	3,99748	0,250	3,68774	0,271
8	6,01796	0,166	7,2856	0,137
9	13,0759	0,076	13,682	0,073
10	20,6837	0,048	14,0506	0,071
11	23,3546	0,043	21,2046	0,047
	MÉDIA	0,103	MÉDIA	0,110
	DESVIO	0,052	DESVIO	0,046
	%	50	%	42

O resultado dessa análise mostrou que não houve uma mudança significativa no valor da constante de tempo, nem uma diminuição considerável no valor do desvio.

IV. CONCLUSÕES

Os testes realizados com os sensores instalados em poço mostraram-se bem reproduzíveis, ou seja, resultados próximos da média. O mesmo não aconteceu com os testes realizados com os sensores imersos diretamente no processo, cujos resultados apresentaram muito ruído. Isto fez com que os resultados fossem dependentes do instante em que foi iniciado o teste, o que fez com que nestes casos o desvio seja muito grande quando comparado com o valor médio obtido. O ruído observado é decorrente do processo onde está imerso o sensor, e não é inerente ao método, como pode ser observado ao se comparar os resultados dos testes de RTDs com e sem poço. Além disso, foi feita uma análise detalhada de um caso em particular para garantir que os altos desvios não fossem devidos ao sistema de aquisição de dados, reforçando a idéia de que o ruído é o responsável pelos desvios.

Apesar de todas essas dificuldades os resultados podem ser aproveitados pois tomando-se o maior valor de constante de tempo obtido e somando o desvio, ou seja, considerando o pior caso possível, tem-se $\tau = 0,155s$ que está muito aquém do valor da folha de dados da Whestinghouse, que é de 2,5s. Este valor considera o efeito dos atrasos devido ao transporte de fluido na tubulação de bypass, mudanças na temperatura da tubulação de bypass e a resposta do RTD. Além disso podemos comparar os resultados obtidos com o valor de constante de tempo fornecido pelo fabricante, que é de 500 ms para um teste de Imersão Rápida do RTD realizado nas seguintes condições:

temperatura = ambiente para $77 \pm 6^\circ C$

vazão = $0.9 \pm 0.2m/s$

banho água

Os dados obtidos neste conjunto de medidas serão mantidos para comparações futuras, ou seja, devem ser considerados como "baseline" de um programa permanente de monitoração de tempo de resposta.

REFERÊNCIAS

- [1] Autorização de Serviços AS DSPN 0028 95: Furnas Centrais Elétricas "Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia de Medição de Tempo de Resposta dos Sensores do SPR da Unidade I na CNAAA".
- [2] KERLIN, T. W. Analytical Methods for Interpreting In Situ Measurements of Response Times in Thermocouples and Resistance Thermometers. Oak Ridge National Lab., Mar. 1976. (ORNL-TM-4912).
- [3] GONÇALVES, I. M. P. "Determinação do Tempo de Resposta de Sensores de Temperatura do tipo RTD através de Medidas In Situ". São Paulo, 1985. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).

ABSTRACT

The present work shows the response time of the RTD type sensors connected to the Protection System of the Angra I nuclear power plant. The methodology employed is the Loop Current Step Response - LCSR. This method allows one to determine the time constant of the sensor during normal operation, taking into account the local conditions such as flow rate, pressure and temperature. The results obtained are coherent when compared with reference values, even though the excess of noise in the signal has led to high deviations.