

MEDIDA DA RAZÃO β/Λ DO REATOR IEA-R1
UTILIZANDO A TÉCNICA DE RUÍDO

João M.L. Moreira (IPEN/CNEN-SP)
Edson Kassar (IPEN/CNEN-SP)

RESUMO

Este trabalho visa obter experimentalmente a razão β/Λ do reator IEA-R1 utilizando a técnica de ruído. Essa técnica baseia-se na determinação da densidade espectral da população neutrônica do reator IEA-R1 em estado sub-crítico mantido por uma fonte de nêutrons de "espectro branco". A razão β/Λ de $43,5 \text{ s}^{-1}$ foi estimada a partir da frequência de corte da função de transferência obtida para o reator IEA-R1.

ABSTRACT

The ratio β/Λ for the IEA-R1 reactor is obtained experimentally through the noise analysis technique. This technique is based on the determination of the power spectral density of the reactor neutron population, with the reactor in a subcritical state driven by a "white" neutron source. A ratio β/Λ of $43,5 \text{ s}^{-1}$ is estimated from the break frequency of the measured transfer function of the IEA-R1 reactor.

INTRODUÇÃO

O fenômeno físico básico de um reator nuclear, as reações de fissão em cadeia, é estatístico e, conseqüentemente, as variações estatísticas da população neutrônica, da temperatura do refrigerante e de outras funções de estado do reator trazem em si informações sobre as características do reator [1-6]. A técnica de ruído analisa essas variações estatísticas permitindo que se determine alguns parâmetros do reator [1-6]. Determinando-se a densidade espectral da população neutrônica de um reator mantido por uma fonte de nêutrons de "espectro branco", obtêm-se também a função de transferência do reator. A razão β/Λ do reator pode ser estimada a partir da frequência de corte da função de transferência medida [1-4].

Com o objetivo de se medir a razão β/Λ do reator IEA-R1 foram realizadas várias gravações de sinais proporcionais a sua população neutrônica. O reator IEA-R1 encontrava-se em um nível de potência na qual não havia geração de calor suficiente para efeitos de realimentação termo-hidráulica [5].

Nas próximas seções encontram-se uma breve discussão da teoria envolvida nesse trabalho e os resultados obtidos com as medidas realizadas no reator IEA-R1, visando a determinação da razão β/Λ .

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

A função de transferência de um sistema linear pode ser obtida das densidades espectrais dos sinais de saída e entrada do sistema [1,3,4]. A magnitude da função de transferência de um reator é dada por :

$$|G(\omega)|^2 = \frac{\phi_{nn}(\omega)}{\phi_{ss}(\omega)} \quad (1)$$

onde : $\phi_{nn}(\omega)$ = densidade espectral da população neutrônica (sinal de saída)
 $\phi_{ss}(\omega)$ = densidade espectral da fonte externa de nêutrons (sinal de entrada)

As densidades espectrais são obtidas dos sinais da população neutrônica e da fonte externa gravados durante um tempo em torno de 20 a 30 minutos [6,7]. A densidade espectral da população neutrônica e da fonte externa são definidas como :

$$\phi_{nn}(\omega) = F[\phi_{nn}(\tau)] \quad - \quad \text{transformada de Fourier} \quad (2)$$

$$\phi_{ss}(\omega) = F[\phi_{ss}(\tau)] \quad - \quad \text{transformada de Fourier} \quad (3)$$

onde :

$$\phi_{nn}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} n(t) n(t+\tau) dt \quad e \quad (4)$$

$$\phi_{ss}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s(t+\tau) dt. \quad (5)$$

$\phi_{nn}(\tau)$ e $\phi_{ss}(\tau)$ são chamadas funções de autocorrelação da população neutrônica e da fonte de nêutrons, respectivamente [1-5].

A densidade espectral da população neutrônica pode ser obtida por meio de um sinal proveniente de um detector de nêutrons localizado dentro ou próximo do reator. A densidade espectral da fonte de nêutrons é mais difícil de ser obti-

da devido à dificuldade de se medir um sinal exclusivamente da fonte. Uma fonte de nêutrons, baseada no decaimento radioativo, tem um espectro "branco" numa de terminada faixa de frequência, caracterizada pelo decaimento. Como a densidade de espectral de um sinal "branco" é constante, a densidade espectral da população neutrônica é proporcional ao quadrado da magnitude da função de transferência:

$$|G(\omega)|^2 = \frac{1}{\text{const.}} \cdot \phi_{nn}(\omega) \quad (6)$$

A medida da densidade espectral da população neutrônica de um reator excitado por uma fonte branca é uma maneira fácil de se obter sua função de transferência [1, 3]. Vários parâmetros do reator podem ser então obtidos. O método torna-se ainda mais interessante por requerer como aparato experimental apenas uma fonte de nêutrons "branca".

FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO REATOR IEA-R1 MANTIDO POR UMA FONTE EXTERNA DE NÊUTRONS

Considerando que se possa descrever o comportamento temporal do reator IEA-R1 por meio das equações de cinética pontual, a função de transferência $G(\omega)$ do reator é então dada por [1, 4]:

$$G(\omega) = \frac{\bar{n}(\omega)}{\bar{s}(\omega)} = \frac{\Lambda}{j\Lambda\omega - \sum_i \frac{\lambda_i \beta_i}{\lambda_i + j\omega} + \beta - \rho} \quad (7)$$

- onde
- $\bar{n}(\omega)$ = transformada de Fourier de $n(t)$
 - $\bar{s}(\omega)$ = transformada de Fourier de $s(t)$
 - $n(t)$ = população neutrônica
 - $s(t)$ = fonte externa de nêutrons
 - ρ = reatividade subcrítica do reator
 - β_i = fração efetiva dos nêutrons atrasados do i -ésimo grupo
 - $\beta = \sum_i \beta_i$
 - Λ = tempo de geração dos nêutrons

λ_i = constante de decaimento do i -ésimo grupo de nêutrons atrasados.

Para frequências altas, a função de transferência do reator toma uma forma mais simplificada. Desprezando os nêutrons atrasados, a magnitude ou ganho da função de transferência para altas frequências é dada, aproximadamente, por:

$$|G(\omega)| = \left[\frac{1}{\omega^2 + \left(\frac{\beta - \rho}{\Lambda}\right)^2} \right]^{1/2} \quad (8)$$

A função de transferência tem um patamar para a faixa de frequências mais baixas de $1 / \left(\frac{\beta - \rho}{\Lambda}\right)$. A frequência de corte é:

$$\omega_c = \frac{\beta - \rho}{\Lambda} \quad (9)$$

Conhecendo-se o grau de subcriticalidade, ρ , pode ser obtida a razão β/Λ

diretamente da função de transferência em altas frequências. Nas próximas seções encontram-se descritos os instrumentos utilizados e as condições em que foram realizadas as medidas.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram feitas várias gravações de sinais do canal linear do reator IEA-R1 com vistas a se determinar a razão β/Λ do reator IEA-R1. A técnica utilizada baseia-se na medida da densidade espectral da população neutrônica do reator IEA-R1 em estado subcrítico mantido por uma fonte de nêutrons.

O sistema de medidas utilizado para a gravação do sinal da população neutrônica do reator está esquematizado na Figura 1. O reator foi operado sustentado por uma fonte de nêutrons de Am-Be. O grau de subcriticalidade do reator IEA-R1 era de aproximadamente 0.01\$, avaliado a partir do posicionamento das barras de controle em relação a posição de criticalidade. O sinal amplificado foi gravado no gravador HP 3960 e posteriormente estudado no Analisador Fourier sistema 5451B, utilizando 800 blocos de dados [7] para obter boa estatística.

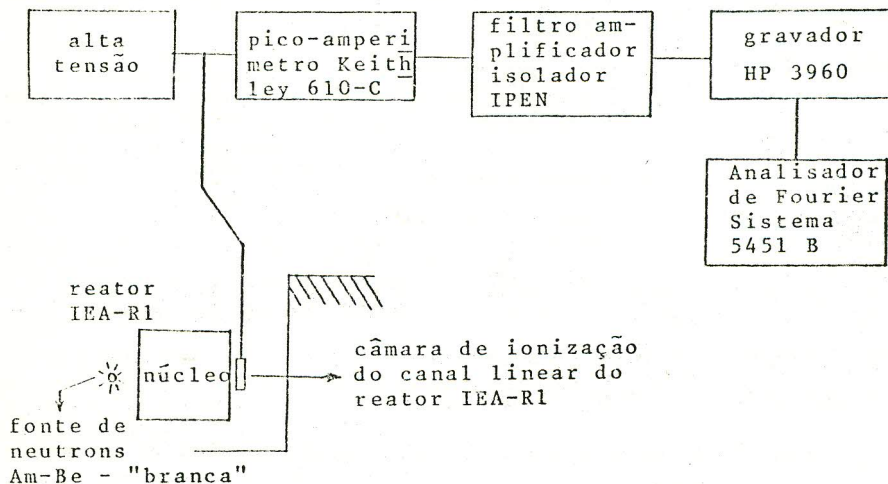


Figura 1 - Sistema de Medida

A fonte externa de nêutrons no reator IEA-R1 não tem exatamente um espectro branco, mas é uma boa aproximação na faixa de frequência de interesse em nossa análise, 0,1 a 50 Hz. Existem outras fontes de nêutrons espúrias no reator proveniente de decaimento de isótopos de meia vida longa que também contribuem para a formação de uma "fonte branca" para excitar o reator.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Figura 2 encontra-se a raiz quadrada da densidade espectral do sinal do canal linear, proporcional a população neutrônica do reator IEA-R1. De acordo com a Equação (6) a Figura 2 representa também a magnitude da função de

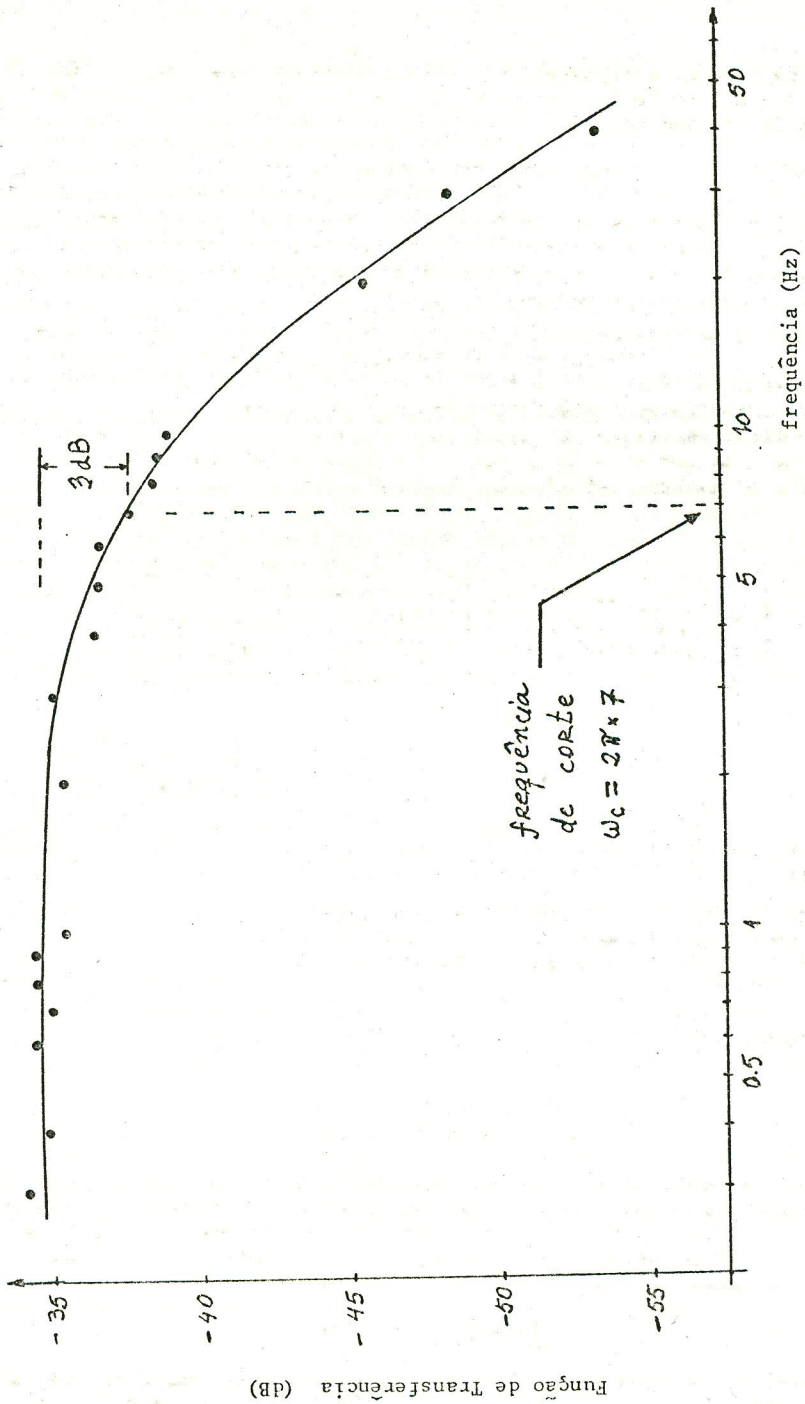


Figura 2 - Função de Transferência do Reator IEA-R1.

transferência do reator IEA-R1.

Nota-se o patamar constante nas frequências menores que 3Hz que é característico dos reatores nucleares térmicos. As variações no patamar podem ser devidas a aproximação de se assumir que a fonte de nêutrons externa tenha um "espectro branco". Outros fatores que afetam o resultado são sinais espúrios do sistema de detecção e a eficiência, talvez baixa, do detetor. Esses fatores mascaram o ruído neutrônico introduzindo outros ruídos indesejáveis.

A razão β/Λ do reator foi estimada determinando-se a frequência de corte, ω_c , da função de transferência, ω_c para altas frequências e desprezando os nêutrons atrasados é dada pela Equação (9). ω_c é determinada na Figura 2 achando-se a frequência onde a amplitude da função de transferência cai de 3dB do patamar constante. A frequência de corte é $7\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ produzindo:

$$\frac{\beta}{\Lambda} = 43,5 \pm 6\text{s}^{-1}.$$

A fim de comparação, o reator Angra-I apresenta uma razão β/Λ igual a $355,5\text{s}^{-1}$ e a unidade crítica KAHTER "pebble bed", moderada a grafite, apresenta uma razão β/Λ de $6,42\text{s}^{-1}$. O reator IEA-R1 que é moderado a água leve e tem elementos de grafite como refletor, apresenta uma razão intermediária. O grafite tem seção de choque de absorção muito pequena que faz com que o tempo de vida de um nêutron no reator aumente bastante.

Considerando a fração efetiva de nêutrons atrasados, β , do reator IEA-R1 como 0,0069, tem-se então um tempo de geração de nêutrons, $\Lambda=1,58 \times 10^{-4}$ s.

CONCLUSÕES

As medidas realizadas mostram a viabilidade de se obter parâmetros do reator IEA-R1 através da técnica de ruído. Os equipamentos existentes no IPEN permitem uma análise de dados ágil e eficiente. O Filtro Amplificador Isolador construído na RTI mostrou-se um bom equipamento e de fácil utilização, eliminando o nível de dos sinais sem maiores problemas.

O resultado obtido para a razão β/Λ é de $43,5\text{s}^{-1}$ produzindo um tempo de geração de $1,58 \times 10^{-4}$ s, para uma fração efetiva de nêutrons atrasados de 0,0069. Não foi realizada uma análise do espectro do reator para frequências maiores que 50Hz e menores que 0.1 Hz. Como continuação desse estudo pretende-se estudar na faixa de frequências mais altas a eficiência da câmara de ionização utilizada. Em frequências mais baixas pretende-se estudar, com o reator na potência de 2MW, os efeitos de realimentação termo-hidráulicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao pessoal de operação do reator IEA-R1 que viabilizaram a realização das medidas. Os autores também agradecem ao Dr. E. Lavenère pelas discussões e a ajuda dada durante a realização das medidas.

REFERÊNCIAS

- [1] Uhrig, R.E. Random noise techniques in nuclear reactor systems. New York, Ronald Press, 1970.
- [2] Williams, M.M.R. Random processes in nuclear reactor. Oxford, Pergamon Press, 1974.

- [3] Thie, J.A. Reactor noise. New York, Rowman and Littlefield, Inc., 1963.
- [4] Bell, G.I., Glasstone, S. Nuclear reactor theory. New York, R.E. Krieger Publishing Co..
- [5] Roedel, G. "Estudo de dinâmica do IPR-R1 por meio de excitações pseudo-aleatórias de reatividade", Anais do 4º Encontro Nacional de Física de Reatores, Rio de Janeiro, 3-5 Novembro 1983, Vol. 1, STI-B, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 1983.
- [6] G.P. Simões, "Medidas e Análise de Ruído Neutrônico do Reator de Pesquisa, Tipo Piscina, do IPEN", Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1979.
- [7] L. Holland e P. Barry, "Discrete Frequency Identification using the HP 5451B Fourier Analyser", Informação IEA 58, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, SP, 1977.