

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO β_{eff} DO REATOR IPEN/MB-01

Adimir dos Santos e Rogério Jerez

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN-SP
Caixa Postal 11049
05499-900, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta a medida do parâmetro cinético β_{eff} do reator IPEN/MB-01 utilizando a técnica de ruído. As medidas foram efetuadas por dois detectores de onde foi extraído a relação CPSD (Cross Power Spectral Density) na faixa de 2.5 à 20 Hz. Essas medidas foram realizadas em diversas potências térmicas e calibradas com a técnica de detectores de ativação (folhas) de ouro. O valor obtido para o β_{eff} é $7.7955E-3 \pm 3.039E-4$.

INTRODUÇÃO

A determinação experimental de parâmetros cinéticos é de importância vital na área de engenharia nuclear. Embora nêutrons atrasados compreendam menos de 1% dos nêutrons liberados de fissão, a fração efetiva de nêutrons atrasados (β_{eff}) é de fundamental importância na segurança de reatores nucleares porque é a quantidade de reatividade necessária para tornar o sistema pronto crítico. A fração efetiva de nêutrons atrasados também é de importância em várias outras situações tais como: curva de reatividade integral e diferencial de barras de controle, determinação da reatividade de boro solúvel, análise de acidentes, etc.

A determinação experimental do β_{eff} tem sido objeto de vários trabalhos, os quais se enquadram em quatro categorias: 1) técnica semiempírica, 2) técnica de substituição de reatividade, 3) técnica da reatividade aparente e 4) técnica de análise de ruído. A técnica semiempírica /1-3/ é baseada em igualar uma reatividade medida (em dollar) com a variação Δk calculada correspondente a uma perturbação característica. A precisão do β_{eff} obtida dessa maneira é diretamente dependente da precisão do conjunto de seções de choque usada no cálculo de Δk . A técnica de substituição /4-8/ requer que a reatividade medida pela substituição de material (água por aço por exemplo) seja realizada em todo o núcleo utilizando uma amostra bem caracterizada. Entretanto, esse procedimento de colocar a amostra em todo o núcleo não é sempre possível em reatores nucleares. A terceira categoria baseia-se na determinação da reatividade aparente /9/ introduzida por uma fonte de nêutrons (geralmente de califórnio). Finalmente a quarta categoria, a qual em será objetivo desse trabalho, é a técnica de análise de ruído /10/. Essa técnica tem a vantagem de ser relativamente fácil de ser realizada.

A escolha da técnica de análise de ruído para a determinação do β_{eff} do reator IPEN/MB-01 foi feita

devido a sua simplicidade e também de disponibilidade de recursos experimentais compatíveis na instalação.

TEORIA

É de conhecimento geral que a população neutrônica de um reator nuclear obedece a um processo estocástico em que ocorrem flutuações dessa população em torno de um valor médio.

Partindo do modelo de cinética pontual e sem realimentação termohidráulica, pode-se obter /11,12/ as funções de densidade espectral para cada cadeia de medição:

$$(APSD)_i = \psi_{ii}(w), i=1,2, \quad (1)$$

e também entre as cadeias de medição $CPSD = \Psi_{ik}(w)$, onde:

APSD - Self Power Spectral Density
CPSD - Cross Power Spectral Density

$$\psi_{ik} = A_{ik} \frac{[H_i(w)H_k(w)]}{(1+w^2/\alpha^2)} + B_i \delta_{ik} H_i(w)H_k(w)$$

O primeiro termo da equação (1) denomina-se "componente correlacionada" da densidade espectral e o segundo termo "componente não correlacionada".

Na equação (1), A_{ik} , B_i são dadas por:

$$A_{ik} = CDFE_i \bar{q}_i \bar{q}_i (R_i G_i) (R_i G_i), \text{ onde:}$$

$$B_i = 2FE_i \bar{q}_i^2 (R_i G_i)^2$$

$H_i(w)$ função transferência normalizada de 1ª cadeia de medição "i"

$$C = 2(1 - \beta) / \beta$$

$$D = \overline{v(v-1)} / \overline{v^2}, \text{ fator de Diven}$$

\bar{U}, \bar{U}^2 - primeiro e segundo momento do número médio de nêutrons produzidos por fissão.

\bar{q}_i, \bar{q}_i^2 - primeiro e segundo momento da carga gerada por nêutron detectado.

F - Taxa de fissão total no núcleo

ϵ_i = número de nêutrons absorvidos no detector "i" por unidade de tempo e por fissão

R_i, G_i Resistência de Ganho.

Relacionando a potência P do reator com a corrente do detector "i", tem-se:

$$I_i = q_i \epsilon_i [\phi(r_i)] F \quad (2)$$

$$P = \gamma F, \quad (3)$$

$$V_i = R_i I_i \quad (4)$$

$$\delta V_i = R_i G_i \delta I_i \quad (5)$$

Onde :

I_i - corrente média do detector "i"

$\epsilon_i[\Phi(r_i)]$ - eficiência absoluta do detector "i".

Parâmetro que leva em conta uma correção do modelo de cinética pontual que considera o tamanho finito do detector, bem como sua localização no núcleo.

γ - Energia liberada por fissão

$$C = 2(1 - \beta) / \beta^2$$

A densidade espectral de potência cruzada é obtida da equação 1 para $i \neq k$ e apresenta a seguinte dependência na frequência:

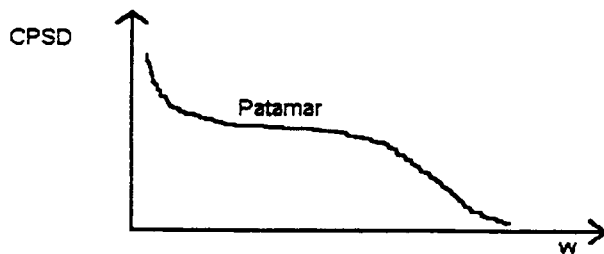


Figura 1: CPSD x Frequência.

O valor de CPSD (Cross Power Spectral Density) no patamar é igual a A_{ik} . Das equações (1) e (5) e com $\Psi_{ik}(w)$ considerado no valor do "plateau" e assumindo $(1 - \beta) \approx 1$ chega-se a:

$$P_{12} = \frac{2G^2 I_1 I_2 \gamma D}{\beta_{eff}^2 A_{12}} \quad "$$

para dois detectores com P_{12} igual à potência P do reator, logo:

$$\beta_{eff} = \sqrt{\frac{2I_1 I_2 D \gamma G^2}{P_{12} A_{12}}}$$

que é a expressão utilizada nesse trabalho para a obtenção do β_{eff} . A calibração Potência X Sinal de Detector foi obtida através de irradiações no núcleo com folhas de ouro /13/ onde obteve-se a curva de calibração de potência do reator.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o reator IPEN/MB-01 na configuração retangular, foram colocados dois detectores do tipo CIC (Camara de Ionização Compensada) simetricamente nas posições leste e oeste do reator, conforme Figura 2:

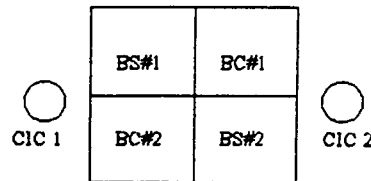


Figura 2: Núcleo do reator IPEN/MB-01

O reator criticalizado em várias potências, onde são realizadas as medidas de CPSD por intermédio de um analisador de Fourier. A figura 3 mostra a arquitetura utilizado nesse trabalho.

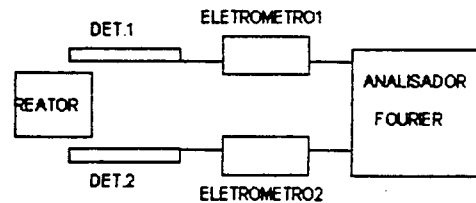


Figura 3: Arranjo Experimental

As medidas foram efetuadas em várias potências e tempos, com faixa de frequência de interesse esta entre 1.5Hz à 20Hz, e a escala do CPSD selecionada para V^2/Hz em RMS. Os dados do patamar na faixa de interesse são retirados do analisador para um microcomputador, de onde foram obtidas as médias do valor A_{12} por um processo de ajuste por mínimos quadrados.

RESULTADOS OBTIDOS

Na Tabela 1 temos a calibração da potência térmica do reator com as correntes dos detectores tipo câmaras de ionização compensadas.

A tabela 2 mostra a relação potência ganho e nível do patamar A_{12} e o valor de β_{eff} obtido para cada caso. Na

utilização da equação que determina o β_{eff} deve ser feita uma conversão para unidades trabalhadas (fator γ).

O valor do β_{eff} médio obtido é $7.7955E-3 \pm 3.039E-4$. Surpreendentemente, excelente concordância do β_{eff} calculado é obtida para esse caso, β_{eff} calculado é $7.876E-3$. /14/

Tabela 1 Potência térmica com as correntes das CIC

Corrente I-1 amp.	Corrente I-2 amp.	POTENCIA P watts	GANHO
5.4E-8	5.4E-8	0.5	900
5.54E-7	5.97E-7	5.0	10000
2.39E-6	2.58E-6	20.0	10000
1.11E-5	1.197E-5	100.0	10000
1.11E-5	1.19E-7	1.0	10000
5.4E-8	5.4E-8	0.5	900
5.52E-7	5.96E-7	5.0	900
2.31E-6	2.48E-6	20.0	10000
5.7E-6	6.14E-6	50.0	900
5.5E-8	5.9E-8	0.5	900
2.39E-6	2.58E-6	20.0	10000
5.53E-8	5.96E-8	0.5	900
2.27E-6	2.44E-6	20.0	10000
5.72E-6	6.14E-6	50.0	10000
5.4E-8	5.9E-8	0.5	900
5.54E-7	5.47E-7	5.0	900
2.26E-6	2.43E-6	20.0	10000

Tabela 2 Relações entre as diversas potências e betas

POWER P watts	A ₁₂	Δ A ₁₂	BETA
0.5	4.95E-4	4.0E-5	7.3451E-3
5.0	5.53E-4	4.0E-5	7.8013E-3
20.0	2.42E-5	2.0E-6	8.0511E-3
100.0	1.11E-4	1.3E-5	7.8040E-3
1.0	1.059E-4	1.1E-5	7.9663E-3
0.5	5.3E-4	7.0E-6	7.0984E-3
5.0	5.0E-5	7.0E-6	7.7628E-3
20.0	2.42E-5	2.4E-5	7.7604E-3
50.0	6.01E-6	7.0E-7	7.3028E-3
0.5	4.993E-4	4.0E-5	7.7150E-3
20.0	2.31E-5	2.5E-6	8.2406E-3
0.5	4.91E-4	5.5E-5	7.8407E-3
20.0	2.27E-5	2.0E-6	7.8787E-3
50.0	5.66E-5	1.0E-5	7.9462E-3
0.5	4.58E-4	3.0E-5	7.9818E-3
5.0	4.11E-5	1.0E-5	8.2175E-3
20.0	2.29E-5	2.5E-6	7.8106E-3

Os erros nas correntes medidas foram de 1%, na potência térmica é de 3% e no fator de DIVEN de 5% de acordo com a bibliografia

CONCLUSÃO

O procedimento de obtenção do β_{eff} através da análise de ruído apresentado nesse trabalho oferece a vantagem de ser afetado com os sinais dos detectores tomados com o reator em operação e além disso apresenta uma certa simplicidade na análise de dados.

Pelo exposto, pode-se concluir que a quantidade do β_{eff} obtido pode servir de padrão de comparação para biblioteca de dados nucleares e metodologia de cálculos.

REFERÊNCIAS

- /1/ G.E.HANSEN and H.C.PAXTON, "Reevaluated Critical Specifications of Some Los Alamos Fast Neutron Systems," LA-4208, Los Alamos Scientific Laboratory (1968)
- /2/ G.E.HANSEN, "Status of Computacional and Experimental Correlation for Los Alamos Fast Neutron Critical Assemblies," Physics of Fast and intermediate Reactor, Vol. 1, p.445, International Atomic Energy Agency, Vienna (1962)
- /3/ T. HIROAKA et al., "Semi-Experimental Measurement of Effective Delayed Neutron Fraction of Fast Reactor System by Application of Pused Neutron Techniques," JAERI-Memo 4004, Japan Atomic Energy Research Institute (Apr.1970)
- /4/ F. de HOFFMANN et al., "Criticality of the Water boiler, Number of Delayed Neutrons, and Dispersion of the Neutron Emission per Fission," LA-183, Los Alamos Scientific Laboratory (1944)
- [5] G.A.PRICE, "Migration Areas and Effective Delayed Neutron Fractins by Critical Experiments," J. Energy, Part A, 10,111 (1959)
- /6/ R.PERES-BELLES, J D KINGTTON, and G.DE SAUSSURE, "A Measurement of the Effective Delayed Neutron Fraction for the Bulk Shielding Reactor-I," Nucl.Sci. Eng., 12, 505 (1962)
- /7/ T. F. RUANE, "Measuring Effective Delayed- Neutron Fractions," Nucleonics, 20 10,94 (1962)
- /8/ S. G. CARPENTER, J. M. GASIDLO, and J. M.STEVENSON, "Measurements of the Effective Delayed - Neutron Fraction in Two Fast Critical Experiments," Nucl. Sci Eng., 49,236 (1972)
- /9/ FISHER, E. A., "Integral measurement of the Effective Delayed Neutron Fraction in Critical Assembly," Nucl. Sci. Eng. 62, 105-106 (1977)

/10/ AVRAMOV, A. M. et al., "The Measurement of the Effective Delayed-Neutron Fraction in the Fast Critical assembly BFS with Uranium-Plutonium Fuel", Marseille, France, April 23-27, 1990 Physor-90, volume 1.

/11/ MARTINS, F. R. "Medidas de Parâmetros de um Reator de Potência Zero Aplicando a Técnica de Análise de Ruídos" IPEN-CNEN/SP, Brasil (1992)

/12/ GOMES, A. et al., "Aplicación de la Técnica de Ruido Neutronic para la Determinación de la Potencia Termica de un Reator Nuclear" Informe n°1145, CNEA, Argentina (1988)

/13/ BITELLI, U. D. et al., "Calibração de Potência do Reator IPEN/MB-01 através do Mapeamento do Fluxo de Nêutrons Térmicos por Detetores de Ativação", Congresso Geral de Energia Nuclear, RJ, Brasil, 87, 90 (1994)

/14/ YAMAGUCHI, M., "METODOLOGIA DE CÁLCULO DE β_{eff} E Λ ", XENFIR S.P. Brasil, (1995)

ABSTRACT

This work shows β_{eff} measurements of the IPEN/MB-01 reactor by means of a reactor noise method. The measurements are performed by two detectors from which the CPSD (Cross Power Spectral Density) in range 2.5 to 20 Hz is obtained. The experiment is run in several power levels. Gold foil activation was used to obtain the calibration curve for the power levels. The value of β_{eff} for the IPEN/MB-01 reactor is equal to $7.7955E-3 \pm 3.039E-4$.