

**Desenvolvimento de um Reatímetro Alternativo
Para Controle de Reatores Nucleares**

Paulo Sérgio Brasko Ferreira

**Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Departamento de Tecnologia de Reatores
Divisão de Física de Reatores
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
CEP 05499 - São Paulo - Brasil**

Resumo

Este trabalho descreve uma versão alternativa do reatímetro digital do IPEN-CNEN/SP. Essa versão utiliza um eletrômetro programável para realizar a aquisição de dados e um microcomputador PC para o cálculo de reatividade. Por reatividade se entende a medida do afastamento da condição de criticalidade do reator. A versão anterior utiliza um módulo eletrônico, desenvolvido no próprio instituto, para realizar as transferências de dados. O objetivo de se desenvolver um reatímetro alternativo é o de se ter disponível um equipamento de medida de reatividade no caso da primeira versão apresentar problemas, quando da realização de um experimento que envolva medidas de reatividade.

Abstract

This work describes a alternative version of the IPEN-CNEN/SP reactivity-meter. This new version utilizes a programmable electrometer (to realize the data acquisition) and a IBM-PC microcomputer to process the reactivity calculation. The aim of development of this alternative reactivity-meter is to have available a equipment of measurements of reactivity in the case of the later version show any problem during a experiment.

1. Introdução

Reatividade é uma grandeza física fundamental para operação segura de um reator nuclear. A cada novo início de ciclo combustível, se faz necessário a medida de vários parâmetros de reatividade, tais como Concentração Crítica de Boro, Calibração de Barras de Controle e Coeficientes de Reatividade [1]. A maioria das medidas de reatividade em um reator de potência é realizada no programa de testes iniciais, durante o ligamento da usina. Em reatores de pesquisa e unidades críticas, entretanto, a medida de reatividade pode vir a ser rotineira.

Existem várias técnicas para medidas de reatividade [2-3], das quais a grande maioria requer equipamentos sofisticados e bases teóricas que demandam longo tempo de processamento e análise de dados.

Para medidas práticas e rotineiras, a técnica mais vantajosa é a que envolve a solução da equação de cinética inversa [4], que possibilita o cálculo de reatividade em tempo real. Nessa técnica, um sinal oriundo da instrumentação fora do núcleo é utilizado para alimentar um computador de reatividade, o qual resolve a equação de cinética inversa.

No passado, a solução da equação de cinética inversa era realizada em computadores analógicos. Entretanto, com o desenvolvimento de microcomputadores digitais, os computadores analógicos foram sendo substituídos.

2. Pequena Descrição do Cálculo de Reatividade e Arranjo Experimental Necessário para a Medida de Reatividade

A equação de cinética inversa é derivada a partir das equações de cinética pontual, dadas por:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} \cdot n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i \cdot C_i(t) \quad (1)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} \cdot n(t) - \lambda_i \cdot C_i(t) \quad (2)$$

Integrando-se a equação dos precursores, equação (2), substituindo-a na equação da população neutrônica, equação (1), e explicitando-se a reatividade da equação resultante, tem-se a equação de cinética inversa, dada por:

$$\rho(t) = \rho(t_0) + \beta + \Lambda \cdot \frac{\dot{n}(t)}{n(t)} - \frac{1}{n(t)} \cdot \sum_{i=1}^6 \lambda_i \cdot \beta_i \cdot \int n(t') \cdot e^{-\lambda_i \cdot (t'-t)} dt' \quad (3)$$

que fornece a reatividade instantânea do sistema, $\rho(t)$. O parâmetro $\rho(t_0)$ corresponde a reatividade inicial do reator (condição inicial). Normalmente $\rho(t_0)$ é nulo para reatores que inicialmente se encontram no estado de criticidade.

Desenvolvendo-se um programa computacional que venha a solucionar a equação (3) e tendo-se um equipamento que possibilite o envio do sinal de corrente do detector, que é proporcional a $n(t)$, para o microcomputador, tem-se um Reatímetro Digital. O equipamento de transmissão de dados citado acima deve, para tanto, possuir um conversor Analógico/Digital (A/D). Esse conversor se faz necessário para transformar os sinais oriundos dos detectores, sinais analógicos, em sinais que o microcomputador possa identificar, sinais digitalizados.

A partir do exposto acima, para se ter um equipamento de medida de reatividade deve-se ter: 1a) um equipamento que possua um conversor A/D para possibilitar a leitura dos sinais dos detectores fora do núcleo e 2a) um microcomputador que contenha um programa que solucione a equação (3). Com essas considerações, um arranjo experimental esquemático para a medida da reatividade de um sistema nuclear seria como o apresentado na figura 1.

3. Primeira Versão do Reatímetro Digital do IPEN-CNEN/SP

A primeira versão do reatímetro digital do IPEN utiliza um módulo eletrônico, desenvolvido no próprio instituto, para transferências de dados entre o detector e o microcomputador e também entre o microcomputador e os registradores gráficos x-y ou x-t, conforme pode ser observado na figura 2.

Esse módulo eletrônico é composto por um picoamperímetro interno de escala automática, um conversor A/D de 12 bits, para conversão da corrente do detector de analógico para digital, um conversor D/A de 10 bits, para conversão dos sinais gerados do microcomputador e enviados para o registrador gráfico, um multiplexador, para leitura de até três sinais independentes, e uma interface RS232C, que é a via de comunicação entre o módulo eletrônico e o microcomputador.

O programa para o cálculo de reatividade está escrito em Basic, apresentando algumas limitações em termos de tempo de processamento de dados, para o cálculo de $\rho(t)$ em tempo real.

4. Versão Alternativa do Reatímetro Digital

A grande diferença entre a nova versão do reatímetro e a antiga refere-se a substituição do módulo eletrônico por um eletrômetro programável. Poder-se-ia também, ao invés do eletrômetro programável, utilizar uma placa A/D inserida diretamente em um dos "slots" vagos da placa mãe do microcomputador. Entretanto, atualmente somente o eletrômetro programável da Keithley no 617 se encontra disponível em nossos laboratórios. É por essa razão que a nova versão do reatímetro foi desenvolvida utilizando-se esse tipo de equipamento.

Assim, o eletrômetro digital vem a substituir o módulo eletrônico desenvolvido no IPEN, na função de conversor A/D de 12 bits. A interface de comunicação entre o eletrômetro e o microcomputador é a GP-IB ou IEEE-488. Através dessa interface, o microcomputador programa o eletrômetro da Keithley e realiza a aquisição de dados para posterior cálculo de reatividade.

Os resultados fornecidos pelo reatímetro, que são normalmente a corrente lida e a reatividade calculada, são apresentados via monitor de vídeo e impressora do microcomputador. Saídas para registradores gráficos também são possíveis se esses registradores possuírem uma interface de comunicação. Nessa nova versão do reatímetro, utilizou-se o registrador gráfico programável da Linseis, modelo TPY 2046, que pode operar tanto como um registrador x-y, como um registrador x-t. A interface de comunicação disponível nesse equipamento é a RS232C. Mesmo que o equipamento tivesse a interface padrão GP-IB não haveria problemas, já que esta interface possui uma conexão que possibilita inserir e comandar mais de um dispositivo ao mesmo tempo. O diagrama esquemático da figura 3 apresenta o novo arranjo experimental para a medida de reatividade de um sistema nuclear.

Após a) um estudo de utilização e manuseio dos dois tipos de interfaces utilizados (RS232C e GP-IB) para essa nova configuração e b) de um estudo de operação e programação dos equipamentos programáveis (Registrador Gráfico e Eletrometro), desenvolveu-se um programa para a comunicação de dados entre o microcomputador e esses instrumentos, o qual foi anexado ao algoritmo original de cálculo de reatividade. Decidiu-se ainda reescrever o programa final na linguagem C. A mudança de linguagem possibilitou um processamento de dados mais rápido e introdução de menus de exibição e extração que contribuem para uma apresentação mais profissional do programa.

5. Testes Realizados com a Nova Versão do Reatímetro

Após o término do desenvolvimento da nova versão do reatímetro digital, uma série de testes foram realizados para verificação do desempenho do equipamento. Inicialmente testou-se o algoritmo de cálculo da reatividade. Para tanto, utilizou-se o código CINETHICA, o qual para uma dada reatividade, $\rho_{cin}(t)$, calcula a respectiva população neutrônica, $n(t)$. Assim, gerou-se uma função trapezoidal para $\rho_{cin}(t)$ e obteve-se o comportamento do fluxo de nêutrons $n(t)$. Esses valores de $n(t)$ eram então inseridos no microcomputador, simulando-se os sinais de detectores de nêutrons. O programa de reatividade, então, calculava a reatividade $\rho_{reat}(t)$, conseqüente das variações de $n(t)$. Os valores de $\rho_{cin}(t)$ e $\rho_{reat}(t)$ foram comparados, apresentando desvios relativos da ordem de 0.1%. Na tabela 1 encontram-se alguns valores de reatividade $\rho_{cin}(t)$ (dados de entrada do Código CINETHICA), os respectivos valores de fluxo de nêutrons, $n(t)$ (dados de saída desse código), e os valores de reatividade $\rho_{reat}(t)$ obtidos

pelo Reatímetro Digital Alternativo, tendo-se como dados de entrada a saída do Código CINETHICA, $u(t)$.

O segundo teste foi realizado com a utilização dos sinais de detectores de nêutrons, utilizando-se um arranjo experimental semelhante ao apresentado na figura 3. Agora as variações de $n(t)$ eram feitas através da perturbação na criticalidade do reator, perturbações conseguidas movimentando-se as barras de controle. A reatividade fornecida pelo reatímetro, $\rho_{\text{reat}}(t)$, e a reatividade obtida pela técnica do período estável, $\rho_{\text{per}}(t)$, foram comparadas e os desvios relativos encontrados foram da ordem de 3%. Na tabela 2 encontram-se alguns resultados obtidos nesse segundo teste.

6. Conclusão

A versão alternativa do reatímetro digital do IPEN-CNEN/SP é descrita neste trabalho. A nova versão possui as seguintes diferenças com relação à primeira:

- i) substituiu-se o módulo eletrônico que tinha como principal função servir como interface entre os equipamentos microcomputador, detector e registradores gráficos, colocando em seu lugar um eletrômetro e um registrador gráfico digitais e programáveis via software;
- ii) Adaptou-se o programa de cálculo de reatividade, originalmente escrito em Basic, para a linguagem C.

A primeira alteração visa a possibilidade de se ter um outro equipamento de medida de reatividade diferenciado do até então utilizado pelo instituto, para no caso de um eventual problema técnico de um dos equipamentos ter-se o outro disponível. Com relação à alteração do software conseguiu-se uma maior velocidade no tempo de processamento de dados no cálculo da reatividade e também de possibilitar uma apresentação do programa de uma forma mais profissional. Uma seqüência de testes funcionais comprovaram o bom desempenho do novo reatímetro.

Agradecimentos

Desejo sinceramente agradecer a Hélio Coragem por seu auxílio na parte do trabalho referente à interface de comunicação GP-IB, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho e ao Instituto por possibilitar a utilização dos equipamentos e estudos realizados.

Referências Bibliográficas

- [1] Ferreira, P.S.B. "Medida e Cálculo de Parâmetros de Reatividade no Reator IEA-R1". Tese de Mestrado no IPEN-CNEN/SP. São Paulo (1988).
- [2] Foell, W.K. "Small-Sample Reactivity Measurements in Nuclear Reactors". American Nuclear Society (1972).
- [3] Profio, A.E. "Experimental Reactor Physics". Wiley-Interscience. (1976).
- [4] Duderstadt, J.J. & Hamilton, L.J. "Nuclear Reactor Analysis". John Wiley & Sons. (1976).

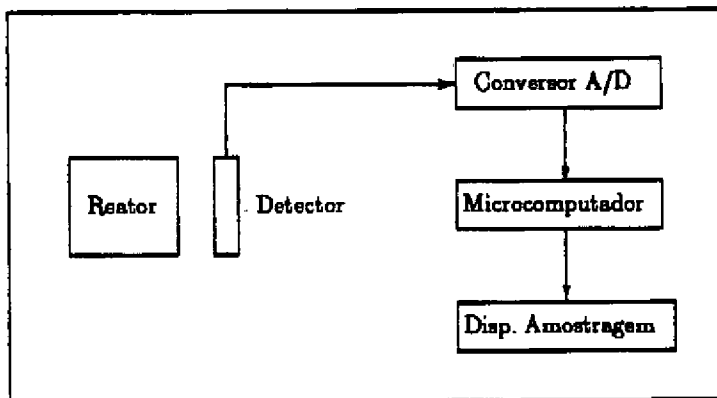


Figura 1. Fluxo de Dados na Determinação da Reatividade do Sistema.

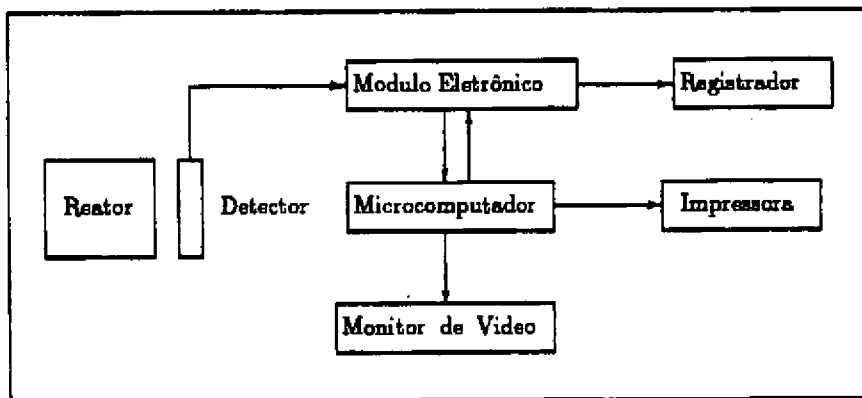


Figura 2. Fluxo de Dados da Primeira Versão do Reatímetro.

106

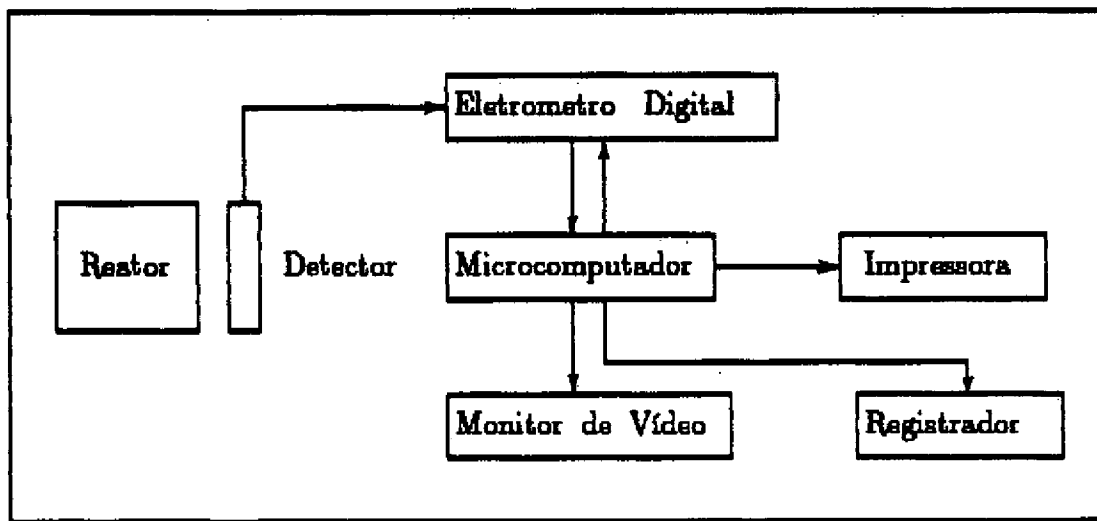


Figura 3. Fluxo de Dados da Nova Versão do Reatímetro Digital.

TABELA 1. Teste do Reatímetro Digital Alternativo Utilizando o Código CINETHICA.

Tempo (seg)	Fluxo n(t) (%)	$p_{cin}(t)$ (pcm)	$p_{reat}(t)$ (pcm)	Desvio (%)
0.50	96.690	-24.853	-24.999	-0.59
1.00	93.178	-49.821	-49.998	-0.36
1.50	89.587	-74.788	-74.998	-0.28
2.00	85.982	-99.763	-100.001	-0.24
2.50	82.405	-124.733	-125.001	-0.21
3.00	78.888	-149.708	-150.000	-0.19
3.50	75.452	-174.683	-174.999	-0.18
4.00	65.759	-249.647	-250.002	-0.14
6.00	59.879	-299.644	-300.000	-0.12
6.50	57.121	-324.651	-324.999	-0.11
7.00	54.485	-349.655	-349.999	-0.10
7.50	51.969	-374.695	-375.001	-0.08
8.00	49.570	-399.723	-400.002	-0.07
8.50	47.286	-424.757	-425.001	-0.06
9.00	45.113	-449.801	-450.000	-0.04
9.50	43.048	-474.847	-474.999	-0.03
10.00	41.086	-499.899	-499.999	-0.02

TABELA 2. Teste do Reatímetro Digital Alternativo Utilizando a Técnica do Período Estável.

Reatividade Reatímetro (pcm)	Tempo de Dobramento (seg)	Reatividade Período (pcm)	Desvio (%)
104.4	45.5	107.4	2.79
103.3	47.0	104.9	1.53
102.0	48.0	103.4	1.35
84.0	62.0	85.5	1.75
75.0	73.0	75.3	0.40