

DESENVOLVIMENTO DE SIMULADOR DE TRANSIENTES EM CANAIS
NUCLEARES DE REATORES NUCLEARES DE PESQUISA

Paulo H. F. Masotti* e Adalberto J. Soares*

*Comissão Nacional de Energia Nuclear(CNEN)
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares(IPEN)
Caixa postal 11049, 05422-970, São Paulo, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos na avaliação do canal de partida do reator IEA-R1m do IPEN-SP, com a utilização de um cartão desenvolvido para este fim, que simula um sinal exponencial puro, de período variável, e realiza a aquisição dos dados gerados para uma análise "off line".

Palavras chaves: Canal faixa ampla, Medidas, Período, Potência, Reator, Taxa de Contagem.

1. INTRODUÇÃO

Reatores nucleares de pesquisas são bastante utilizados não apenas em pesquisas envolvendo estudos da neutrônica e termo hidráulica, mas também na produção de radioisótopos com aplicações na agricultura e na medicina no diagnóstico e tratamento de várias doenças.

Ao contrário dos reatores de potência, reatores de pesquisa apresentam uma grande versatilidade, podendo ser ligados e desligados a qualquer instante. Porém esta característica, que a princípio é uma vantagem, é compensada com uma desvantagem, ou seja as operações de ligar e desligar o reator, que em reatores de potência ocorrem em média uma vez por ano, num reator de pesquisas ocorrem dezenas de vezes por ano, podendo chegar a centenas. Desta forma, os canais nucleares, que monitoram as variações de fluxo neutrônico, são muito mais exigidos em reator de pesquisas do que no reator de potência.

2. CONCEITOS TEÓRICOS

Em geral um reator nuclear possui basicamente três canais nucleares para monitorar a sua potência, a saber, o canal de partida, o canal intermediário e o canal de potência.

O canal de partida monitora o fluxo neutrônico no reator desde a condição de desligado até a potência atingir o nível do canal intermediário, isto é quando a população de nêutrons é baixa

O canal intermediário possui a sua faixa inicial coincidente com a faixa final do canal de partida, operando até que o reator atinja cerca de 10% da potência nominal, quando já se encontra em operação o canal de potência.

O canal de potência, começa a operar quando a potência do reator é da ordem de 1% do valor nominal e opera até cerca de 110% da potência nominal.

Alguns reatores, como o reator IEA-R1m do IPEN, possuem uma configuração diferente, possuindo um canal nuclear único, chamado canal de faixa ampla, que permite monitorar o fluxo neutrônico desde a condição de desligado até a condição de 110% da potência nominal. Independentemente do tipo de canal nuclear, na faixa de partida, todos eles medem a taxa de pulsos gerados no detector nuclear, como resultado da interação entre o fluxo de nêutrons existente no interior do núcleo do reator e o material sensível colocado no interior do detector. No caso do reator IEA-R1m, o detector utilizado para monitorar a partida do reator é uma câmara de fissão, que possui urânio enriquecido no isótopo ^{235}U em seu interior.

Uma das exigências dos órgãos que regulam a operação de reatores nucleares é que, por questões de segurança, os canais que monitoram a potência do reator sejam calibrados periodicamente, e que os canais que monitoram as operações de partida, sejam verificados com relação as suas características dinâmicas, de forma a assegurar que eles consigam acompanhar as variações de potência, sem colocar em risco o reator. Para tanto, são desenvolvidos instrumentos e métodos específicos, que permitam a simulação de transiente, sem que seja necessário o uso do reator.

Para a avaliação do comportamento do canal de partida do reator IEA-R1m, foi desenvolvido um cartão que simula as condições de operação do reator, tanto em regime estacionário, como em transiente.

Da teoria da cinética de reatores, sabe-se que o parâmetro chamado reatividade ρ é utilizado para avaliar as condições dinâmicas do reator. O ρ é definido como sendo:

$$\rho = (k-1)/k$$

onde, k é definido como sendo o fator de multiplicação do reator e possui a seguinte relação:

$k = (\text{quantidade de nêutrons produzidos numa geração}) / (\text{quantidade de nêutrons consumidos na mesma geração})$.

Portando quando k é menor que 1, consequentemente ρ é menor que zero, o reator está diminuindo a sua potência. Nestas condições dizemos que o reator está subcrítico. Quando k é igual a 1, ρ é igual a zero, e o reator está mantendo a sua potência constante, nesta condição o reator está crítico; e quando k for maior que 1, ρ é maior que zero, e a potência está aumentando no tempo. Nesta condição dizemos que o reator está supercrítico.

Num transiente a equação que rege a população dos neutrons no núcleo do reator é dada por um conjunto de termos do tipo:

$$n(t) = A_0 e^{\omega_0 t} + A_1 e^{\omega_1 t} + \dots + A_n e^{\omega_n t}$$

onde os termos ω_n são os auto-valores do sistema de equações que regem a dinâmica do reator, e n é o número de grupos de precursores adotado no sistema. Precursores são isótopos resultantes da

fissão do ^{235}U , em geral radioativos, e que decaem emitindo nêutrons que são aproveitados no reator para gerar novas fissões. Em geral são classificados em grupos, de acordo com a sua meia-vida. ($T_{1/2}$).

O primeiro termo da equação está associado aos nêutrons prontos ou seja, aqueles que são produzidos diretamente no processo de fissão e os demais termos, ω_1 até ω_6 , são associados aos nêutrons atrasados, que se originam dos decaimentos dos produtos de fissão existentes no núcleo do reator. O sinal dos termos ω_1 até ω_6 é sempre negativo, já o termo ω_0 pode ser positivo ou negativo dependendo se o transiente gerado provoca um aumento ou uma diminuição na potência do reator. Para pequenas variações de potência, os demais termos ao longo do tempo tendem rapidamente para zero, e desta forma, pode-se aproximar a equação de $n(t)$ para:

$$n(t) = A_0 e^{t/T_p}$$

onde o parâmetro T_p é denominado de *período* do reator.

Este parâmetro fornece a indicação de como a potência está variando com o tempo, e é um parâmetro muito importante pois, se for muito pequeno significa que a variação de potência é muito rápida, e pode pôr em risco a segurança do reator. Esta é a razão pela qual os canais nucleares que monitoram a partida dos reatores possuem circuitos que além de fornecer a potência do núcleo, informam como esta potência está variando no tempo.

Conforme já mencionado, este trabalho descreve os resultados obtidos com a utilização de um sistema, desenvolvido especialmente para avaliar as condições de funcionamento do circuito eletrônico dos canais nucleares utilizados para monitorar a partida do reator IEA-R1m, tanto em condições de regime estacionário como em condições de transiente.

O circuito desenvolvido gera sinais com um comportamento exponencial, que aplicado à entrada de teste do pré-amplificador do canal nuclear, simula os pulsos provenientes do detector nuclear em qualquer condição.

Na Figura 1 é apresentado um diagrama de blocos típico de um canal de partida de um reator nuclear.

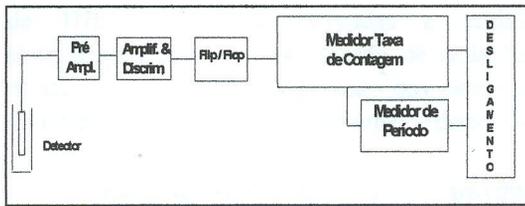


Figura 1 - Diagrama de blocos de um canal de partida típico utilizado em reatores nucleares.

Na Figura 2 apresentamos um detalhe do bloco medidor taxa de contagem e medidor de período, como o utilizado no canal de partida do reator IEA-R1m.

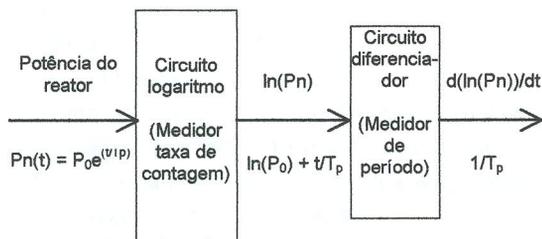


Figura 2 - Diagrama de blocos de um circuito típico utilizado para medir a taxa de contagem (potência) e o período de reatores nucleares.

Para que o medidor de taxa de contagem possa operar de forma satisfatória alcançando várias décadas operacionais, ele é construído utilizando-se circuitos logarítmicos.

Desta forma ao se aplicar à sua entrada um sinal de características exponenciais, o medidor de taxa de contagem irá realizar o logaritmo do sinal de entrada, apresentando à sua saída um sinal de características linear.

Se realizarmos a diferenciação do sinal resultante, teremos o valor do inverso do período, conforme ilustrado na Figura 2.

O sinal de saída do medidor de período é enviado para o indicador existente na mesa de controle e para os circuitos biestáveis que podem ser ajustados para acionar os circuitos de proteção do reator, se valores de segurança pré ajustados forem ultrapassados.

O sistema desenvolvido neste trabalho consiste basicamente de um circuito gerador de pulsos, com capacidade para produzir pulsos segundo funções específicas, por exemplo uma exponencial, e várias entradas. Uma vez colocado em um *slot* de um micro computador o mesmo permite gerar pulsos para o pré-amplificador do canal nuclear, e ao mesmo tempo, coletar os sinais em vários pontos do

canal de forma a permitir a análise das características dinâmicas do canal nuclear.

A Figura 3 mostra um esquema das ligações efetuadas na mesa de controle, quando o sistema esta em uso.

É importante observar que para permitir uma avaliação adequada do canal de partida, o circuito desenvolvido, além de simular os pulsos do detector nuclear, que são aplicados à entrada de teste do pré-amplificador, realiza a aquisição de vários sinais, em alguns pontos da mesa de controle, a saber: os sinais sob forma de pulso, que chegam à entrada do medidor taxa de contagem, o os sinais de corrente contínua, que saem do medidor de taxa de contagem e do medidor de período.

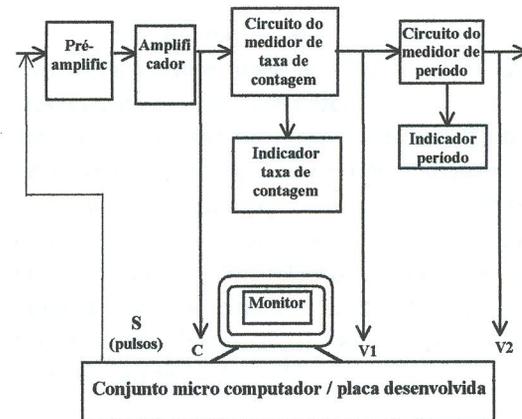


Figura 3 - Diagrama de blocos mostrando as ligações das entradas e saídas do cartão desenvolvido, às entradas e saídas da mesa de controle, onde:

- S: saída de pulso para o pré-amplificador.
- C: pulsos para o medidor de taxa de contagem.
- V1: tensão de saída do circuito medidor da taxa de contagem.
- V2: tensão de saída do circuito medidor de período.

3. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DESENVOLVIDO

As principais características do sistema desenvolvido são:

Cartão conectável em um *slot* de um microcomputador compatível com a linha IBM - PC, com capacidade para gerar pulsos com amplitude ajustável de 0 a 3V para cabo coaxial de 50Ω e largura de pulso de 500ns ou 200ns ajustáveis por *jump* interno. Faixa de operação

de 1Hz até 300kHz, entradas e saídas eletricamente isoladas com tensão de isolamento de até 2,5kVac. Como a geração dos sinais é totalmente digital, o sistema dispensa calibrações.

Para aquisição de dados, o sistema possui três entradas sendo uma de pulso e duas de tensão.

O controle do *hardware* é efetuado por meio de um *software* residente no microcomputador, e que é dividido em três partes distintas. Uma realiza o ajuste de parâmetros para a geração de pulsos, a partir de informações fornecida pelo operador (faixa de frequências e período desejado), gerando uma tabela que será utilizada pelo segundo *software*, o *software* de controle do cartão.

O *software* de controle do cartão além de controlar o funcionamento do cartão, gera os pulsos segundo a tabela fornecida pelo primeiro *software*, e também salva os dados adquiridos em um arquivo na forma binária.

Um terceiro *software*, converte o arquivo binário em um outro em modo texto (.TXT) para que possa ser lido mais facilmente pelos *softwares* comerciais existente, para uma análise detalhado dos dados obtidos.

A seguir são apresentado os resultados obtidos com o sistema desenvolvido.

4. RESULTADOS

Na Figura 4 são apresentados os resultados obtidos para uma função de comportamento exponencial com um período de 30s. Podemos observar que o medidor de período apresentou uma reta de valor constante, próxima dos 2V e o medidor de taxa de contagem uma taxa de crescimento constante.

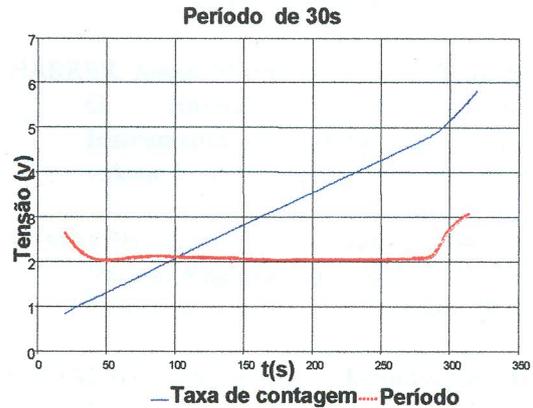


Figura 4 - Comportamento dos medidores taxa de contagem e período x tensão de saída dos respectivos medidores, para um período de 30s.

Na Figura 5 são apresentados os resultados obtidos para um período de 12s. Nesta figura é possível se observar que a taxa de contagem apresentou uma reta com uma pequena flutuação no início e uma variação no final da curva que, em uma primeira análise, deve-se ao início da operação da faixa do canal faixa ampla, e com relação ao período, se observa que os circuitos apresentaram uma flutuação no início da escala e depois se estabiliza ao redor de 3,3V

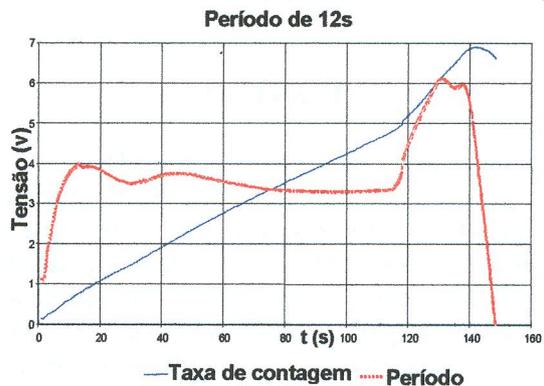


Figura 5 - Comportamento dos medidores taxa de contagem e período x tensão de saída dos respectivos medidores para um período de 12s

Finalmente, apresentamos os resultados obtidos para um função exponencial de período 4s. Este período é quase a indicação de fundo de escala do medidor de período e é uma condição onde o reator não opera. Este teste simplesmente demonstra que a instrumentação nuclear mesmo no final de escala opera de modo satisfatório. Pelo Figura 6 se verifica que o indicador de taxa de contagem apresentou

alguma flutuação no início da faixa e uma outra flutuação no final da faixa, pelo motivo já descrito. O indicador de período em função de sua constante de tempo teve alguma dificuldade para estabilizar-se porém nota-se que este acomodou-se na tensão de aproximadamente 7,9V.

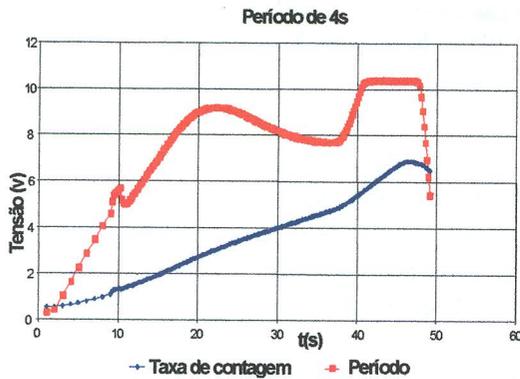


Figura 6 - Comportamento dos medidores taxa de contagem e período x tensão de saída dos respectivos medidores, para um período de 4s.

5. CONCLUSÕES

Conforme os resultados das figuras apresentadas, embora algumas ainda se encontrem sob análise, verifica-se que o canal de partida do reator está operando de modo satisfatório. Nota-se que na partida, em função das contagens iniciais serem bastante baixas, ocorreram flutuações no início da escala do medidor de taxa de contagem e período, porém com o aumento da taxa de contagem (potência), esta flutuação é reduzida, apresentando valores bastantes satisfatórios, indicando que o canal de partida está funcionando e de forma adequada, e que as suas características dinâmicas estão dentro das especificações estabelecidas para garantir a operação segura do reator, e conseqüentemente permitir principalmente, a continuidade na produção de radioisótopos que são utilizados em medicina nuclear

6. REFERÊNCIAS

- HARRER, Joseph M. and BECKERLEY, James G. **Nuclear Power Reactor Instrumentation Systems Handbook**, volume 1, 1973.
- LAMARSH, John R. **Introduction to Nuclear Engineering** Addison-Welley Publishing company, 3^o impressão, 1977.
- LAMARSH, John R. **Introduction to Nuclear Reactor Theory** Addison-Welley Publishing company, 2^o edição, 1972.
- G.A.C. GENERAL ATOMIC COMPANY **Instrumentation System - Operation And Maintenance Manual, Manual de operação e manutenção do Reator IEA-R1** General Atomic Company Março 1975.
- SCHULTZ, M. A. **Control of Nuclear Reactor and Power Plants** McGraw Hill Book Company 2^o Edição, 1961.
- DUDERSTADT, JAMES J. and HAMILTON, LOUIS J. **Nuclear Reactor Analysis** John Wiley & Sons, Inc. 1976.

ABSTRACT

This work presents the results of a system developed to test the dynamic characteristics of start up channel of IEA-R1m research reactor. The developed system simulates the nuclear pulses from a neutron detector, applies the pulses to the pre-amplifier of the star up channel and allows the aquisition of some analog signals of the channel. The acquired data is used to evaluate the behavior of the channel during transient conditions.