

MEDIDAS DE FRAÇÃO DE VAZIO, VELOCIDADE DE FLUÍDO REFRIGERANTE
E BOLHAS NO CIRCUITO EXPERIMENTAL DE ÁGUA DO IPEN/CNEN-SP

Edson Kassar (IPEN/CNEN-SP)
Wageeh Sidrak Bassel (IPEN/CNEN-SP)

RESUMO

O Circuito Experimental de Água do IPEN trabalha com pressão máxima de 70 atm, e temperatura máxima de saída de Seção de Testes de 285°C com potência máxima fornecida à Seção de Testes de 100 Kw.

Foram obtidas velocidades do fluido utilizando-se termopares adjacentes, e velocidades de vapor utilizando-se sondas resistivas de radio-frequência adjacentes.

ABSTRACT

The experimental water loop of IPEN operates with maximum pressure 70 atm., maximum temperature 285°C and test power 100 Kw.

It was possible to calculate the velocity of liquid phase by noise analysis of two adjacent thermocouple signals and the velocity of vapor bubbles by noise analysis of two high frequency probes in a two-phase flow of vapor and water in the heated test section of the water loop of IPEN.

INTRODUÇÃO

Em reatores nucleares é de suma importância a transferência de calor dos elementos combustíveis para o líquido refrigerante. A ebulição, é um processo muito eficiente para refrigerar as superfícies aquecidas. Essa agitação é causada pelo aparecimento e movimentação das bolhas formadas tanto na superfície aquecida quanto no interior do líquido.

Para caracterizar os vários regimes de vazão bifásica podemos utilizar o conceito de fração de vazio que é a fração de volume ou área ocupada pela fase de vapor. Devido à imiscibilidade das fases de vapor e líquido, cada uma é separada da outra por interfaces. É de fundamental importância saber o número e localização dessas interfaces para a descrição da vazão bifásica.

SONDAS RESISTIVAS DE RADIO-FREQUÊNCIA

No presente trabalho os valores de fração de vazio e velocidade de bolhas foram medidos pela técnica de sondas resistivas de radio-frequência (R.F.). Esta técnica utiliza coeficientes diferenciados de reflexão para ar (bolhas) e água. Um gerador de radio frequência produz uma onda estacionária estabelecida no conjunto linha de transmissão e sonda resistiva. A largura do sinal resultante da demodulação da onda estacionária, utilizando um medidor de Razão de Onda Estacionária (ROE), contém a informação do tempo de trânsito das bolhas (tamanho das bolhas) na referida sonda R.F. [1, 2, 3]. No entanto, o sinal resultante da sonda R.F. é bastante irregular para bolhas pequenas, ocasionando erros na medida de fração de vazio. Para resolver este problema foi construído um circuito formatador de pulsos.

O circuito formatador de pulsos é constituído basicamente [4] de 2 blocos: um bloco discriminador (Schmitt-trigger) e um bloco diferenciador. O sinal quadrado resultante é "disparado" concomitantemente ou opcionalmente pelo nível de discriminação baixo e tempo de subida do pulso. E é zerado pelo nível de discriminação alto e tempo de descida. Os tempos de subida e descida escolhidos são ajustados no bloco do circuito diferenciador.

Utilizando-se o Analisador de Fourier HP-5451B, dotado de conversor analógico-digital, é possível calcular a fração de vazio, bem como outros parâmetros tais como: velocidade de deslocamento das bolhas entre 2 sondas R.F. consecutivas, velocidade do fluido refrigerante entre 2 termopares utilizando funções de correlação (domínio de tempo) e função de defasagem (domínio de frequência). O cálculo da fração de vazio, utilizando os sinais formatados das sondas R.F. é feito dividindo a área média ocupada pelos pulsos retangulares gerados com a ocorrência de bolhas pela área total. A área média ocupada pelos pulsos formatados é calculada utilizando a função de integração do Analisador de Fourier. Notamos que os pulsos formatados apresentam todos a mesma amplitude e só diferem na largura relacionada ao tamanho das bolhas.

O maior problema relacionado ao uso da técnica das sondas R.F. é a calibração da sensibilidade do circuito formatador. O sinal elétrico proveniente das sondas R.F. são originados frequentemente de bolhas em processo de coalescência, resultando em sinais elétricos "empilhados". Somente o bloco diferenciador pode separar tais pulsos. O ajuste do diferenciador e dos discriminadores máximo e mínimo foi feito por um processo interativo. Partindo de valores razoáveis para discriminação máxima e mínima, e também para o valor RC (potenciometro) do circuito diferenciador. Calculou-se com os sinais das sondas HF9 e HF11 instaladas na secção de teste do Circuito Experimental de Água

a velocidade de vapor local, utilizando a função defasagem calculada no analisador de Fourier. Com o valor da velocidade de vapor medida, junto com os valores de título de vapor e velocidade do fluido obtidos pelas relações padrão [5] obtem-se assim também a fração de vazio. Com o valor de fração de vazio ajusta-se os circuitos formatadores das sondas HF9 e HF11 de maneira a obter através dos sinais gravados das mesmas sondas os valores experimentais mais próximos dessa fração de vazio calculada. Com esse ajuste feito, calcula-se novamente através dos sinais das sondas R.F. o novo valor de velocidade de vapor e obtem-se, semelhantemente, novo valor de fração de vazio. Os valores de velocidade de vapor, fração de vazio e razão de escorregamento se estabilizaram após 8 interações [6]. Assumiu-se assim que os formatadores estavam com a sua sensibilidade ajustada. Os sinais de sonda R.F. e dos termopares foram gravados durante períodos de 30 minutos em cada teste para que se tenha uma boa estatística, sendo utilizados 700 blocos de dados. Os circuitos formatadores foram calibrados também utilizando a técnica de absorção gama [7]. Essa calibração prévia foi utilizada para dar os valores iniciais dos níveis de discriminação e do valor de RC do potenciômetro do diferenciador no processo interativo acima descrito.

ARRANJO EXPERIMENTAL

O Circuito Experimental de Água do IPEN-CNEN/SP opera com pressão máxima de 70 atm, e temperatura máxima da saída da secção de teste de 285°C com potência máxima fornecida à secção de teste de 100 Kw. Na secção de teste utilizada de secção transversal quadrada, com aquecedor cilíndrico central e área de escoamento igual a 194,0 mm² foram instalados 7 termopares e 12 sondas R.F. Outros equipamentos utilizados foram: 10 amplificadores isoladores providos de filtro passa-alta, 4 medidores de Razão de Onda Estacionária (R.O.E.) e também as sondas R.F., todos fabricados pelo IKH (Universidade de Hannover - RFA), 1 gerador de sinais UHF (300-1000 Mhz) Rohde e Schwarz tipo SDR, 1 gravador magnético (FM) HP-3960A e uma fonte fria ICEL-MKII.

O programa de medidas foi realizado em fases:

- Gravação de sinais de termopares para o circuito pressurizado a 60 bar, sem potência na secção de testes.
- Gravação de sinais de termopares para o circuito pressurizado a 60 bar, pré-aquecido a 200°C, variando a vazão de 0,55, 0,65 e 0,75 Kg/s e para cada vazão a potência da secção de testes variou de 0; 45 e 95 Kw.
- Gravação de sinais de termopares, sondas de radio-frequência para escoamento bifásico, com pressurização de 18 bar e pré aquecimento a 200°C, com vazões de 0,55 e 0,75 Kg/s. A potência da secção de testes variou continuamente para a detecção, através das sondas de radio frequência dos limites da ebulição subresfriada medindo o tamanho das bolhas. A medida do tamanho das bolhas é feita utilizando o tempo de trânsito da bolha na sonda R.F. dada pela largura do sinal formatado e pela velocidade do fluido refrigerante.

ANÁLISE DE DADOS

Analisando os sinais gravados dos termopares no escoamento monofásico, os termopares TW2 e TW3 próximos à entrada da secção de testes, separadamente de 50cm, apresentaram em todas as etapas resultados no cálculo da função coerência acima de 50% [8].

Utilizando a formula [9] a seguir:

$$T = \frac{\Delta\phi}{\Delta f \times 360} \quad (1)$$

Onde T (segundos) é o tempo de trânsito da "perturbação" térmica entre 2 transdutores adjacentes, calculado pela função defasagem no trecho da curva onde esta tem inclinação constante, $\Delta\phi$ (graus) é a faixa do ângulo de defasagem, e Δf , a faixa de frequência desse mesmo trecho.

A figura 1 mostra a função defasagem para os termopares TW2 e TW3 com o Circuito Experimental operando com potência de 48 Kw, vazão 0,75 Kg/s e pressurizado a 60 bar. O valor do tempo de trânsito (T) obtido com $\Delta f = 4\text{Hz}$, $\Delta\phi = 150^\circ$, foi de 0,104 s. resultando em uma velocidade de 4,80 m/s, comparada com o valor 4,38 m/s calculado teoricamente com o valor da vazão, densidade e área de escoamento da secção de testes.

No escoamento bifásico, a função coerência calculada com os sinais dos termopares apresentam valores abaixo de 10%, devido à turbulência provocada pela ebulição. As funções defasagem não apresentaram defasagem constante em nenhum trecho da curva.

Utilizando os sinais formatados das sondas de rádio-frequência HF9 e HF11, instaladas na parte superior da secção de teste e separadas axialmente de 50mm e que apresentaram maiores valores da função coerência, calculamos a velocidade de vapor. A Figura 2 mostra a função defasagem para as sondas de rádio-frequência HF9 e HF11 com o Circuito Experimental operando com potência de 51,1 Kw, pressão de 18,2 bar e vazão 0,544 Kg/s e temperatura de entrada da secção de teste de 196°C. Com ângulo de defasagem $\Delta\phi = 112,5^\circ$ e a faixa de frequência $\Delta f = 73,03\text{ Hz}$, o tempo de trânsito (T) calculado é igual a 4,28s, que nos dá uma velocidade de 11,68 m/s., comparadas com a velocidade de vapor calculada pela correlação experimental de Von Glahn, [5] igual a 12,58 m/s. Utilizando o sinal formatado da sonda HF11 (topo da secção de teste) calculou-se a fração de vazão em 43,15% comparada com a calculada com a correlação experimental de Von Glahn igual a 44,16%. A correlação de Von Glahn é uma correlação empírica relacionando fração de vazão (α) com título de vapor (x), construída a partir de dados experimentais utilizando água como fluido refrigerante para uma grande faixa de condições de operação e geometrias do canal de escoamento conforme relação abaixo:

$$\frac{1}{x} = 1 - \left(\frac{V_v}{V_f} \right)^{0,67} \left[1 - \frac{1}{\alpha} \left(\frac{V_v}{V_f} \right)^{0,1} \right] \quad (2)$$

Onde V_v e V_f são respectivamente o volume específico do vapor e fluido.

Os valores da fração de vazão e velocidade de vapor calculada pela correlação de Von Glahn são valores médios, enquanto que os obtidos pelas sondas HF9 e HF11 são próximos à parede da secção de teste. O erro encontrado para velocidade de vapor é de 7,15%, para fração de vazão de 2,28% e o erro encontrado no cálculo de velocidade do fluido foi 9,58%. Diferenças dessa magnitude podem indicar a necessidade de diminuir a distância tanto das sondas de rádio frequência e tanto dos termopares para aumentar o valor da função coerência entre os sinais medidos pelos pares de transdutores. Com a diminuição das distâncias podemos também tentar medir tempo de trânsito, (tempo de vida) das bolhas em ebulição subresfriada que não foi possível até o momento.

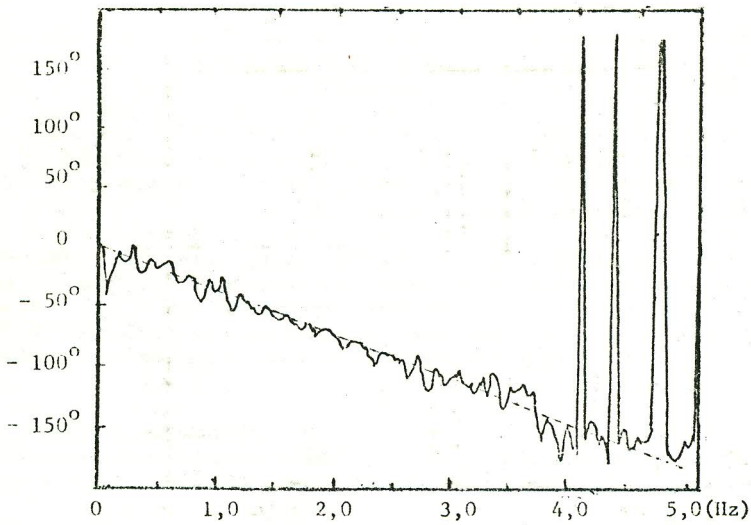


Figura 1 - Função defasagem dos termopares

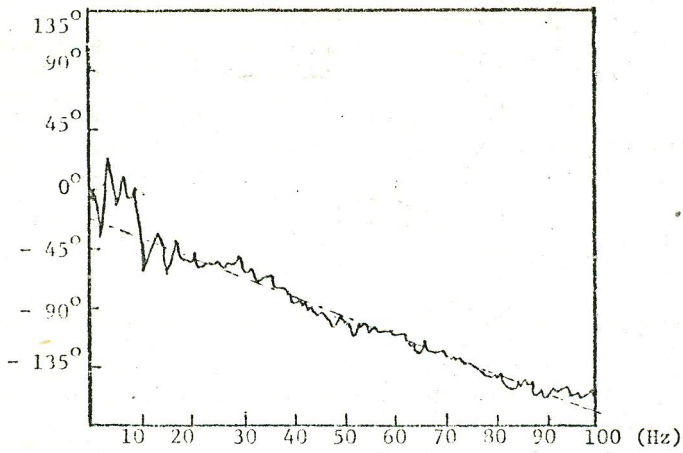


Figura 2 - Função defasagem das sondas

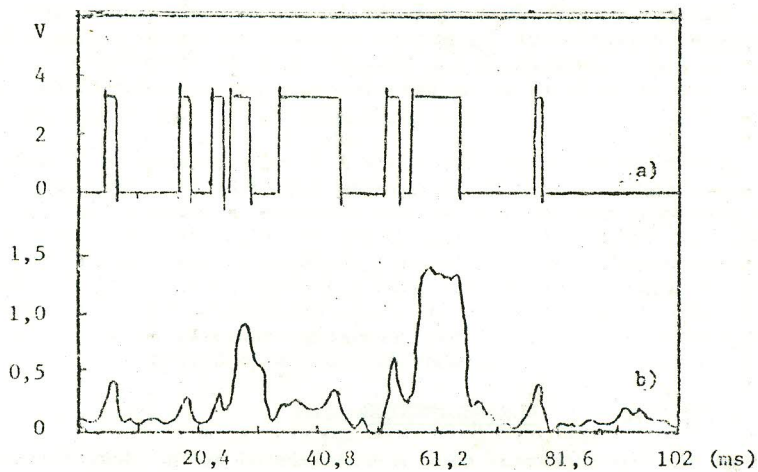


Figura 3 - Amostra do sinal formatador a) e da sonda b)

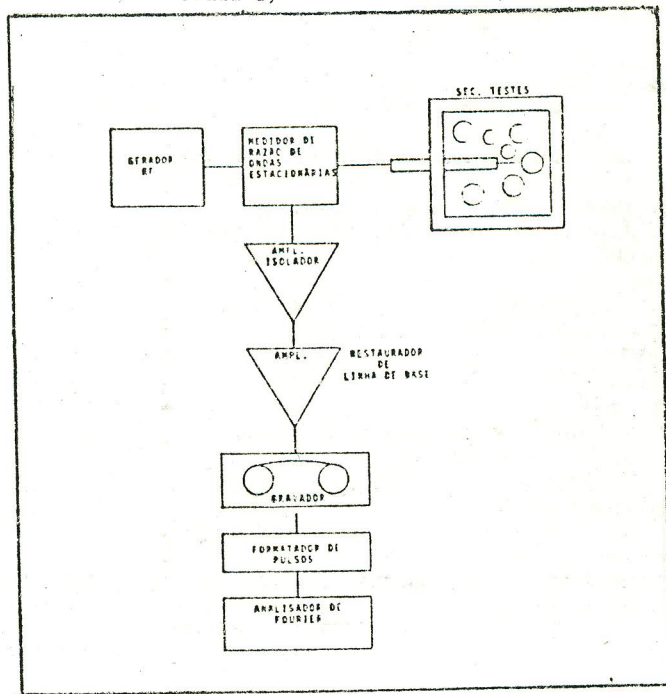


Figura 4 - Sistema de medidas de sondas RF

Deverão também ser utilizados termopares de diâmetros menores que 0,5mm (atual) para aumentar a faixa de frequência de resposta dos termopares. Para melhorar o ajuste, os circuitos formatadores serão calibrados em uma pequena secção de testes a ser constituída com possibilidade de controlar o tamanho das bolhas variando a potência de um fio aquecedor passando dentro da secção de testes.

Além da possibilidade de se usar sonda R.F. para cálculo de velocidade de vapor, o espectro resultante do cálculo de Densidade Espectral de Potência (DEP) [8] do sinal das sondas pode nos dar informações sobre o tipo de ebulição. Resultados preliminares [6], indicam que as faixas de frequência significativas da DEP se estendem até 700 Hz para ebulição subresfriada e não ultrapassam 300 Hz para ebulição saturada, possibilitando identificação imediata ("On line") do tipo de ebulição. Foram também encontradas frequências marcantes (4,0 e 5,0 Hz) no espectro das DEP para ebulição saturada, podendo isto significar taxas de formação para 2 tamanhos diferentes de bolhas.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos ao Dr. José Antonio Diaz Dieguez, Chefe do Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais do IPEN-CNEN/SP e ao Eng. Joachim Runkel pesquisador da Universidade de Hannover (RFA). Um agradecimento especial a Srta. Edna Maria Martins Coelho pelo trabalho de datilografia e sugestões.

REFERÊNCIAS

- [1] M.A. VINCE, G. KRYCUK and R.T. LAHEY, "Development of a radio frequency excited local impedance probe", Nuclear Engineering and Design, 67 (1981), 125-136
- [2] N. ABUAF, T.P. FEEIRABEND, G.A. ZIMMER and O.C. JONES Jr, "Radio frequency probe for bubble size and Velocity measurements", Rev. Sc. Instrum., 50 (10), oct. 1979
- [3] A.E. BERGLES, "Electrical probes for study of two-phase flows", 11th National ASME/AICHE - Heat Transfer Conference, 1969; Minneapolis, Minnesota, USA.
- [4] E. KASSAR, C.G. NOGUEIRA, "Testes do circuito formatador de sinais de sondas HF", 3200600045/01, IPEN-CNEN/SP, 1985
- [5] EL WAKIL, Nuclear Heat Transport, International Textbook Company
- [6] E. KASSAR, W.S. BASSEL, "Operação para atender o programa de testes iniciais com o pessoal de Hannover", 360060102/01, 02 e 03, IPEN-CNEN/SP
- [7] E. KASSAR, R.D. SILVA, "Calibração do formatador de sinais na bancada ar/água", 320250041/01, IPEN-CNEN/SP
- [8] J.S. BENDAT, A.G. PIERSOL, Random Data, Analysis and Measurements Procedure, Wiley Interscience
- [9] G. KOSALY et al, "Investigation of the local component of the neutron noise in a BWR and its application to the study of the two phase flow", Swiss Federal Institute for Reactor Research - SMORN II - September 1977
- [10] Planta da Secção de Testes II do Circuito Experimental de Água do IPEN-CNEN/SP.