

Estudo de Instabilidades MHD no Dispositivo de Plasma CECI com Utilização de Sondas de Fourier

A. C. Rosal*; Y. Aso; M. Ueda

Laboratório Associado de Plasma - LAP

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / ITA/CNPq

C.P. 515 - 12201 - São José dos Campos, SP

Resumo

Neste trabalho foi desenvolvido e testado um diagnóstico magnético denominado "Analisador de Fourier", com o qual temos como objetivo o estudo de instabilidades MHD através da expansão em série de Fourier do campo magnético poloidal para modos $m \leq 3$. Este diagnóstico será posteriormente utilizado no pequeno dispositivo de plasma toroidal, CECI, do tipo RFP (Reversed Field Pinch).

1 Introdução

O Estudo de instabilidades MHD em dispositivos toroidais do tipo RFP, é um importante passo para a compreensão e confirmação do mecanismo de inversão do campo magnético. Experiências anteriores mostram que quando a coluna de plasma tende para um estado de mínima energia, a inversão de campo ocorre naturalmente através de processos envolvendo instabilidades ou turbulências MHD [1]. Foi com esse objetivo que se desenvolveu no Laboratório Associado de Plasma-INPE, um "Analisador de Fourier" que será usado para detectar as flutuações no campo magnético poloidal e estudar os modos MHD predominantes que vierem a aparecer no dispositivo de plasma, CECI [2].

Nesta fase, entretanto, o analisador foi testado num simulador de corrente de plasma de geometria cilíndrica no qual se obteve as configurações poloidais $m = 0, 1, 2$ e 3 .

2 Características do Analisador de Fourier

O Analisador de Fourier é um sistema contendo 8 sondas magnéticas distribuídas uniformemente ao longo de uma secção reta circular conectadas a integradores cujos sinais são somados segundo os coeficientes da Série de Fourier. A expansão do campo magnético poloidal é dada por:

$$B_p(\theta) = \frac{1}{2} B_0 + \sum_{m=1}^{\infty} [a_m \cos(m\theta_1) + b_m \sin(m\theta_1)] \quad (1)$$

com

$$B_0 = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N B_{\theta_i} \quad (2)$$

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N B_{\theta_i} \cos(m\theta_i) \quad (3)$$

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N B_{\theta_i} \sin(m\theta_i) \quad (4)$$

onde "N" é o número de sondas ($N=8$) e "m" é o número de onda (ou modo poloidal).

Assim, o Analisador de Fourier obterá eletricamente os sinais para os coeficientes B_0 , a_m e b_m (com $m = 1, 2, e 3$). O diagrama da Fig. 1(a) dá como exemplo a sequência realizada no circuito elétrico com a qual se obtém o coeficiente a_m . Este diagrama mostra que os sinais dos campos poloidais provenientes de cada sonda devem ser multiplicados por um fator de peso (dado pelo $\cos m\theta_i$) e, posteriormente, são somados conforme a eq. (3).

A Fig. 1(b) mostra o diagrama de bloco total do Analisador de Fourier; a linha tracejada mostra a relação entre as etapas das Figs. 1(a) e 1(b). Como pode ser visto, os sinais das sondas devem ser integrados para obter o campo poloidal, e o fator de peso é conseguido através de amplificadores operacionais inversores e não-inversores associados a resistores de peso; por fim, as somatórias desses sinais são feitas segundo as expansões dos coeficientes (eqs. (2), (3) e (4)). Assim, os modos poloidais que se fizerem presentes na coluna de plasma poderão ser identificados.

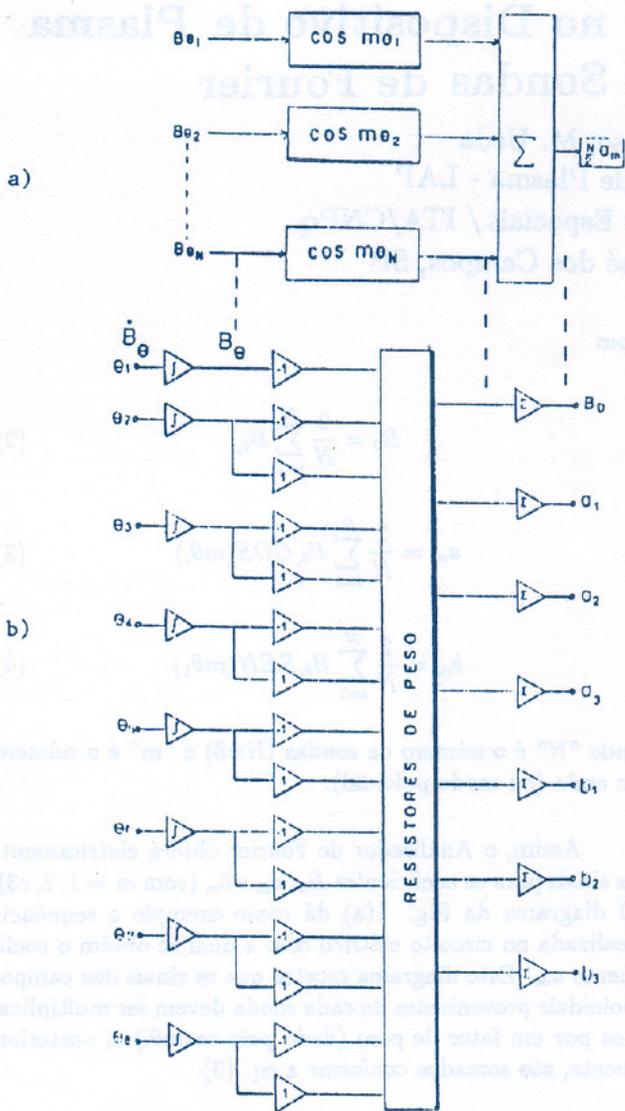


Figura 1. Diagrama de Bloco do Analisador de Fourier. a) Esquema para se obter o coeficiente a_m ; b) Diagrama de Bloco total do circuito elétrico

3 Características do Simulador de Corrente de Plasma

Para testar o Analisador de Fourier foi construído um simulador de corrente de plasma (Fig.2), que consiste de um tubo de PVC cilíndrico revestido externamente por uma casca de cobre e no seu interior podem ser montados, através de fios, perfis de configurações poloidais de correntes, equivalentes aos modos MHD $m = 0, 1, 2$ e 3 . O tubo de PVC tem as seguintes dimensões: 50 cm de comprimento, 7,9 cm de diâmetro interno e 8,8 cm de diâmetro externo. Para fixar as sondas magnéticas no meio do cilindro (≈ 25 cm) entre o PVC e a casca de cobre, foi feito um sulco no tubo de PVC de maneira que as sondas ficam a uma distância de 4,2 cm do eixo do cilindro.

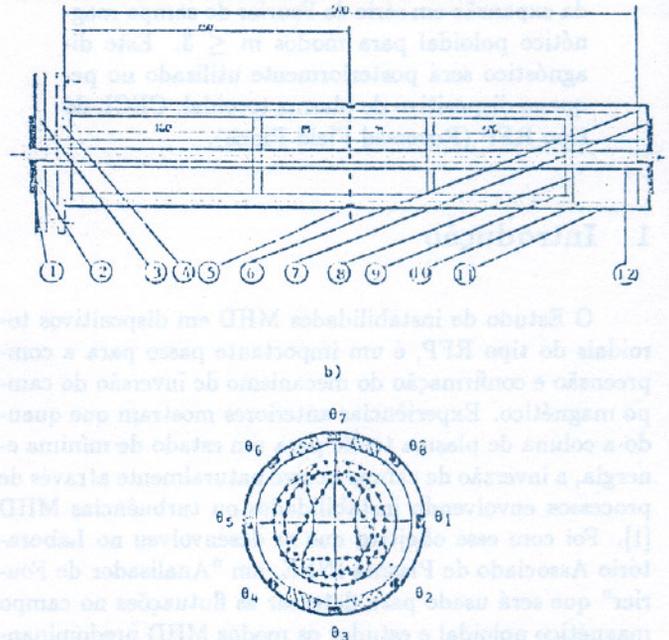


Figura 2. Simulador de Corrente de Plasma. a) Vista de corte lateral do simulador: 1- cobre; 2- cobre; 3- madeira; 4- madeira; 5- sondas magnéticas; 6- madeira; 7- cobre; 8- madeira; 9- PVC; 10- PVC; 11- cobre; 12- fios internos onde formam as configurações $m = 0, 1, 2$ e 3 . b) Vista de corte no eixo do cilindro na peça 8

Descargas do tipo LC são usadas para fazer circular corrente elétrica nos fios internos do simulador que estão com uma determinada configuração poloidal ($m = 0, 1, 2$ ou 3). Esta corrente gera campo magnético corresponde à configuração, e o Analisador de Fourier através das sondas magnéticas identifica os modos poloidais fornecendo os coeficientes da Série de Fourier que são utilizados na expansão do campo magnético poloidal dada pela eq. (1).

4 Resultados Obtidos e Discussão

As Figs.3,4,5 e 6 mostram as expansões de campo poloidal onde foram utilizados os coeficientes obtidos experimentalmente pelo "Analisador de Fourier".

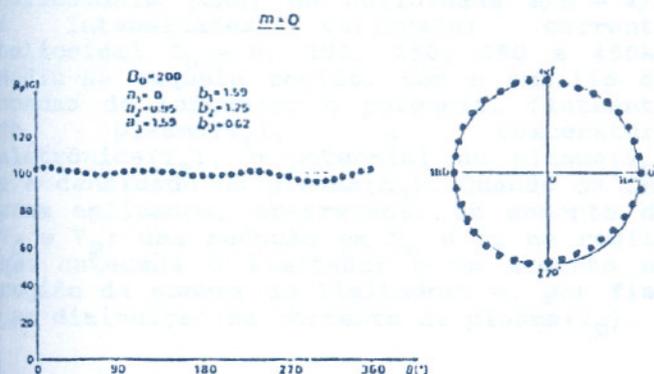


Figura 3. Expansão em Série de Fourier do campo poloidal para $m = 0$. O traço contínuo é o valor teórico de B_p para $m = 0$ e o pontilhado é o valor da expansão de B_p para $m = 0$

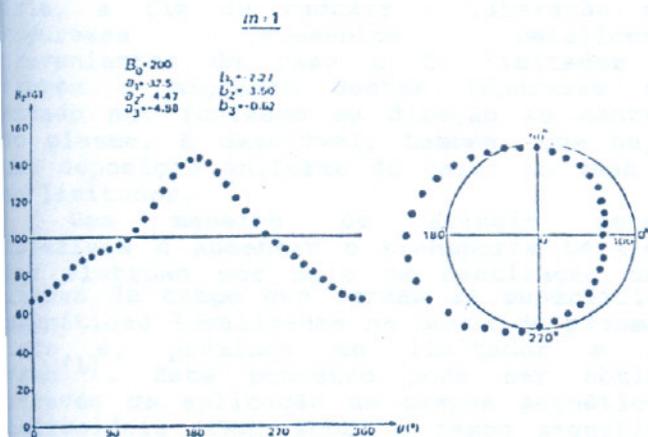


Figura 4. Expansão do campo poloidal para $m = 1$. O traço contínuo é o valor teórico de B_p para $m = 0$ e o pontilhado é o valor da expansão de B_p para $m = 1$

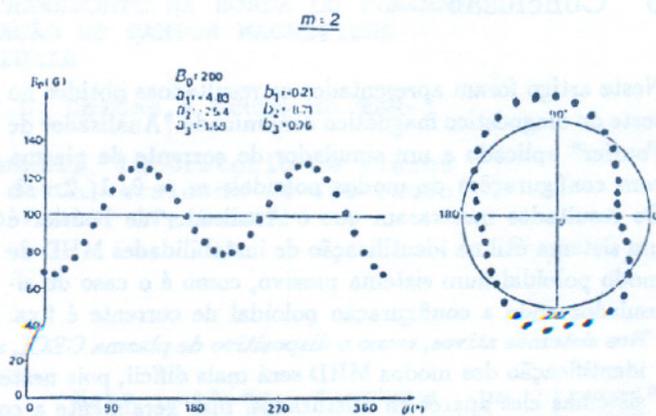


Figura 5. Expansão do campo poloidal para $m = 2$. O traço contínuo é o valor teórico de B_p para $m = 0$, e o pontilhado é o valor da expansão de B_p para $m = 2$

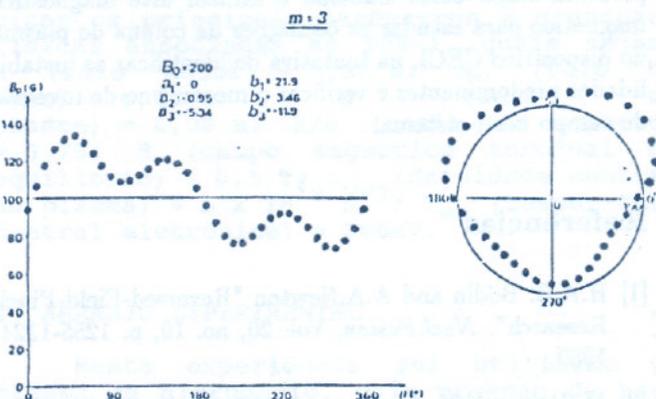


Figura 6. Expansão do campo poloidal para $m = 3$. O traço contínuo é o valor teórico de B_p para $m = 0$ e o pontilhado é o valor da expansão de B_p para $m = 3$

A configuração circular com centro no eixo do cilindro, teoricamente produz um campo magnético uniforme e idêntico em todas as sondas; por isso ela foi usada para calibrar as sondas magnéticas através dos integradores que foram ajustados de maneira a apresentarem a mesma sensibilidade (Gauss/mV). Experimentalmente, esse ajuste foi conseguido com um erro e $\leq 4,52\%$, como pode ser visto pela Fig. 3, onde está sendo comparado o valor teórico do campo poloidal (100 Gauss) com o valor experimental.

As demais expansões de campo poloidal foram normalizadas, tomando como base a configuração $m = 0$ experimental (Fig. 4,5 e 6). Esta normalização é feita com a intenção de cancelar o erro do ajuste na sensibilidade das sondas magnéticas.

5 Conclusão

Neste artigo foram apresentados os resultados obtidos no teste do diagnóstico magnético denominado "Analisador de Fourier" aplicado a um simulador de corrente de plasma com configurações de modos poloidais $m = 0, 1, 2$ e 3 . Os resultados mostraram que o Analisador de Fourier é um sistema útil na identificação de instabilidades MHD de modo poloidal num sistema passivo, como é o caso do simulador onde a configuração poloidal de corrente é fixa. Nos sistemas ativos, como o dispositivo de plasma CECI, a identificação dos modos MHD será mais difícil, pois nestes sistemas eles aparecem misturados, mas geralmente a coluna de plasma tende a uma determinada instabilidade.

Experiências com outros dispositivos do tipo RFP indicam a presença da instabilidade KINK $m = 1$ como a causadora da inversão de campo magnético [1]. Assim a próxima etapa deste trabalho é utilizar este diagnóstico magnético para estudar as oscilações da coluna de plasma do dispositivo CECI, na tentativa de identificar as instabilidades predominantes e verificar o mecanismo de inversão de campo neste sistema.

Referências

- [1] H.A.B. Bodin and A.A. Newton "Reversed-Field-Pinch Research". *Nucl. Fusion*, Vol. 20, no. 10, p. 1255-1324, 1980.
- [2] M. Ueda and Y. Aso Proc. of VI Japan-Brazil Workshop on Science and Technology, 11-12 Aug., p. 340, 1980.

Diagrama de Bloco do Analisador de Fourier, utilizado para se obter o espectro de Fourier da corrente de plasma. O Diagrama de Bloco mostra a configuração de hardware utilizada para a aquisição e análise dos dados. A configuração inclui um conversor analógico-digital (ADC) conectado a um computador pessoal (PC) via interface de placa de aquisição de dados. O PC está conectado a um analisador de Fourier (FFT) que gera o espectro de Fourier da corrente de plasma. O espectro é então analisado para identificar as instabilidades MHD de modo poloidal.

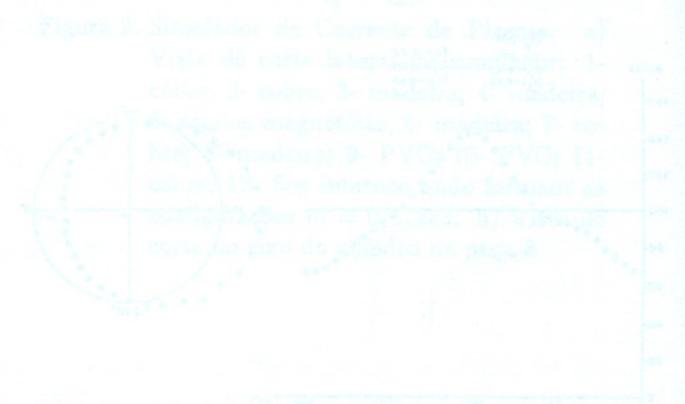
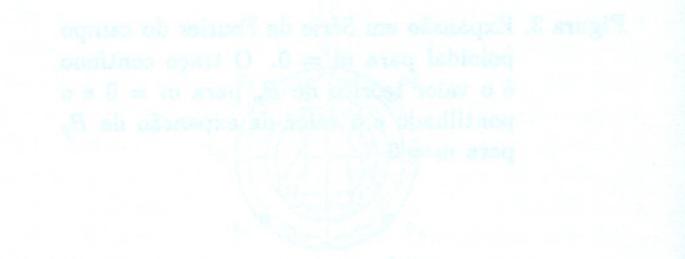


Figura 4 - Espectro de Fourier da corrente de plasma para $m = 1$. O eixo horizontal é o valor da frequência em kHz e o eixo vertical é o valor da amplitude em V.