

Desenvolvimento de um *Software* de Controle e Análise de um Sistema de *Z-Scan* para Determinação do Índice de Refração Não-Linear de Materiais de Interesse para Lasers

R. E. **Samad** e N. D. Vieira Junior

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN/SP
Caixa Postal 11049 - Pinheiros - 05422-970 - São Paulo - Brasil

No estudo de materiais candidatos a meio laser ativos, não é suficiente o conhecimento apenas dos parâmetros lineares⁽¹⁾ dos materiais em questão, sendo importante a determinação de seus parâmetros não-lineares⁽²⁾, pois esses encontram-se sujeitos a altas intensidades de campos eletromagnéticos. De particular interesse são os efeitos de ação-própria ("*Self Action Effects*"), que dependem da susceptibilidade não-linear de terceira ordem. Uma técnica simples para determinação desta susceptibilidade é o *Z-Scan*⁽³⁾, onde uma amostra não-linear é excursionada através de um feixe laser (na direção *Z*) de geometria conhecida, de forma que a autofocalização (ou auto-defocalização) induzida por meio do índice de refração não-linear⁽²⁾, altera a posição da cintura deste feixe, fazendo com que a transmitância através de uma íris de abertura fixa no campo distante seja dependente da posição da amostra no feixe. Na figura 1a pode-se ver um esquema da montagem, e a figura 1b ilustra um exemplo de como varia a curva de transmitância normalizada para uma amostra de índice de refração não-linear positivo.

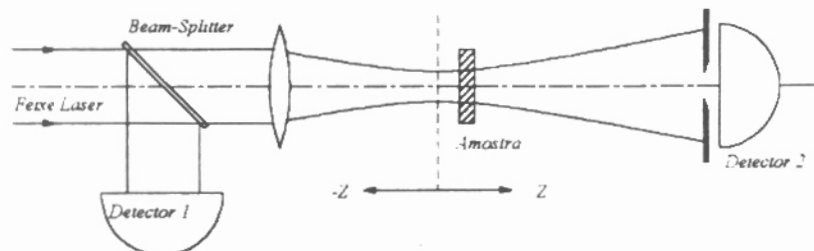


figura 1a
montagem do *Z-Scan*

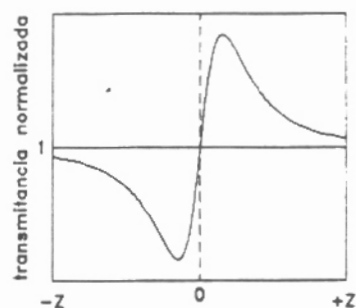


figura 1b
curva de transmitância

Uma vez obtida a curva de transmitância normalizada, é possível calcular o sinal e o módulo do índice de refração não-linear do material por meio de um ajuste de seus parâmetros. A expressão da curva da transmitância normalizada é :

$$T(z, \Delta\Phi_0) = 1 - \frac{4\Delta\Phi_0 x}{(x^2 + 1)(x^2 + 9)}$$

onde $x = z/z_0$, sendo z_0 o parâmetro confocal do feixe laser, e $\Delta\Phi_0 = k\Delta n_0(1 - e^{-\alpha L})/\alpha$, sendo k o número de onda do laser, L o comprimento da amostra, α seu coeficiente de absorção linear, e $\Delta n_0 = \gamma I_0$ a variação do índice de refração, onde γ é o coeficiente não-linear do meio, e I_0 a intensidade do laser.

Para implantação da técnica de Z-Scan em nosso laboratório foi construído o sistema esquematizado na figura 2. Os equipamentos utilizados foram :

- translador micrométrico acionado por motor de passo marca *Klinger*, com passo de $10 \mu\text{m}$ e curso de 200 mm, e driver de controle com interfaces *RS-232C* e *GPIB*, para deslocamento da amostra ao longo do feixe focalizado
- Lock-In marca *EG&G Parc*, também com interfaces *RS-232C* e *GPIB*, para análise síncrona dos sinais ópticos detectados pelos detectores de Ge ou PbS
- microcomputador tipo IBM-PC com monitor de alta resolução, porta paralela para comunicação com impressora, duas portas seriais para comunicação com o graficador e o driver do translador, e placa de comunicação *GPIB*
- impressora *Epson T-1000*, 9 pinos e 80 colunas
- graficador (plotter) *HP modelo 7475A*, para registro geral do dados (A3 e A4)

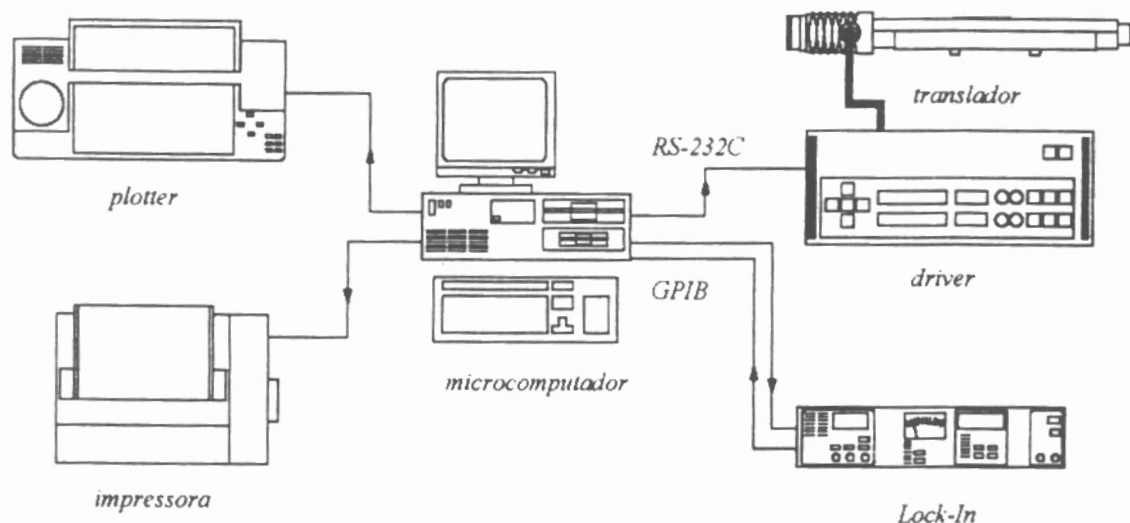


figura 2 - montagem experimental

O interfaceamento do Lock-In com o microcomputador foi feito por meio de uma placa *GPIB* da marca *STD*⁽⁴⁾, enquanto que o driver do translador foi conectado a uma das portas seriais *RS-232C* do microcomputador, enquanto a outra porta serial é utilizada para conexão com o graficador. A impressora foi conectada através da porta paralela do microcomputador. Foi confeccionado no laboratório o cabo de conexão entre microcomputador e acionador do translador, sendo resolvido assim o problema de compatibilidade entre as interfaces *RS-232C* do microcomputador e do acionador, uma vez que uma delas operava em *loop* de tensão e a outra em *loop* de corrente.

O software de controle dos equipamentos, tomada e análise dos dados, foi escrito em linguagem de programação *PASCAL* em ambiente *TURBO PASCAL 7.0*; excetuando-se um arquivo *.OBJ* ("handler") adquirido com a placa *GPIB*, o restante da programação foi desenvolvida totalmente no laboratório.

O software é modular, sendo constituído por um núcleo que gerencia os dados e que controla a apresentação dos menus, duas *overlays*⁽⁵⁾, uma responsável pelo controle dos equipamentos e aquisição de dados, e outra pela análise destes dados, e várias *Units* (bibliotecas), onde encontra-se o código de rotinas utilizadas com frequência, os comandos de controle do translador, Lock-In e graficador, e os

algoritmos de tratamento e ajuste de dados. O programa foi desenvolvido basicamente em programação orientada para procedimentos, porém contém várias rotinas em programação orientada para objetos⁽⁶⁾, mas sem a utilização de objetos virtuais.

Os dados ficam armazenados na "Heap"⁽⁵⁾ da memória do microcomputador, sendo acessados por *pointers*, aumentando a quantidade de pontos que podem ser armazenados, e aumentando também a velocidade de acesso a estes dados, tanto em termos de leitura quanto de escrita. Outra vantagem desta forma de armazenamento de dados é a não utilização da *Stack* de variáveis, restando mais memória para armazenamento de variáveis do programa.

No controle do translador foi incluída uma rotina de atraso para o microcomputador, pois as formas de operação das interfaces RS-232C deste e do translador não são totalmente compatíveis (*loop* de tensão e *loop* de corrente), de modo que é enviado um sinal de deslocamento ao translador, e o microcomputador não executa nenhuma outra operação por um determinado tempo, tempo este que corresponde ao deslocamento do translador, para evitar conflito de comandos. Nesta forma de operação o microcomputador não é capaz de ler um sinal enviado pelo translador, apenas pode enviá-lo. O envio é feito associando um arquivo de saída com a porta serial, e os comandos são escritos neste arquivo.

A comunicação com o Lock-In é feita pela placa GPIB (padrão IEEE-488) e segue um procedimento diferente. Os comandos são enviados e as respostas lidas por meio de *procedures e functions*⁽⁵⁾ fornecidas pelo fabricante no "handler". O protocolo de comunicação exige o envio de um comando IBASIC⁽⁴⁾ para resetar a comunicação, seguido de um comando IBLSP, que efetua um *serial pool* no aparelho, inicializando-o para a comunicação. A partir daí qualquer instrução é enviada ao Lock-In por meio de um comando IBESC, e caso haja resposta, esta é lida com um comando IBLER. Desta forma é possível ajustar qualquer controle do aparelho (sensibilidade, constante de tempo, seleção de sinal ou razão sinal/ruído, ajuste de frequência de referência, etc), assim como ler o tipo de sinal selecionado.

Enquanto é efetuada a varredura e o sinal é lido, é executado no monitor do microcomputador, em tempo real, um gráfico deste sinal, sendo possível avaliar imediatamente a medida, e refazê-la caso sua qualidade não seja satisfatória.

Uma vez de posse dos dados, é necessário tratá-los para determinação do índice de refração não-linear. Inicialmente normaliza-se as extremidades da curva de Z-Scan para 1, isto sendo feito por meio de um cálculo da média dos pontos sem levar em conta o pico e o vale da curva, e em seguida a divisão de todos os pontos por esta média. Feito isto, realiza-se um ajuste da função analítica do Z-Scan aos pontos por meio do método dos mínimos quadrados, utilizando o algoritmo de Gauss-Marquardt⁽⁷⁾ de procura pelo gradiente para ajuste de funções não lineares nos parâmetros, algoritmo este que foi desenvolvido por nós num programa de tratamento de dados intitulado MQD⁽⁸⁾, que é atualmente utilizado na sala pró-aluno do Instituto de Física da USP. Com tais parâmetros é fácil o cálculo do Índice não-linear a partir da expressão da transmitância normalizada já apresentada.

A comunicação com o graficador e a impressora é feita da mesma forma que a com o acionador (driver) do translador : associa-se as portas serial e paralela a um nome de arquivo, e escreve-se o comando desejado neste, sendo então o comando transferido para o periférico ao qual destina-se. Para impressora são mandados apenas

dados ou informações escritas, ao passo que para o graficador são enviados os gráficos. A interface para o graficador foi escrita utilizando comandos da linguagem *HP-GL*⁽⁹⁾, o que faz com que estas instruções, se forem gravadas em arquivo na forma de texto, possam ser lidas por vários programas que contenham um filtro para tal.

Atualmente o sistema encontra-se em fase de calibração da óptica, sendo utilizado o software com o objetivo de otimização da óptica, e melhoria do sinal lido (redução da razão sinal/ruído). À medida do necessário o software será corrigido e aprimorado, tanto em sua parte de aquisição quanto de tratamento de dados, e apresentação de resultados (saída para graficador , impressora e outros programas).

Deve-se salientar que este sistema é modular e aplicável a acionadores de motor de passo, interfaces *GPIB* e *RS-232C*.

Referências

1. di Bartolo, B., **"Optical Interactions in Solids"**, *John Wiley & Sons Inc*, New York, 1968
2. Shen, R., **"The Principles of Nonlinear Optics"**, *John Wiley & Sons Inc*, New York, 1984
3. Bahae, M. S., A. A. Said, T. Wei, D. J. Hagan and E. W. Van Stryland, **"Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam"**, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 26, pp 760-769, 1990.
4. **"STD-8410 Cartão Controlador GPIB - Manual do Usuário"**, *STD - Sistemas Técnicos e Digitais S. A.*, 1986
5. O'Brien, S., **"Turbo Pascal 6 - Completo e Total"**, *MAKRON Books do Brasil Editora Ltda.*, São Paulo, 1992
6. Shammas, N., **"Programação Orientada Para Objeto com Turbo Pascal 5.5"**, *MAKRON Books do Brasil Editora Ltda.*, São Paulo, 1991
7. Marquardt, D. W., **"An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters"**, *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, vol. 11, pp. 431-441, 1963
8. Samad, R. E., **"MQD - Ajuste de funções por meio do método iterativo de Gauss-Marquardt"**, *Software desenvolvido em linguagem PASCAL*, 1991
9. **"HP 7475A Graphics Plotter - Operation and Interconnection Manual"**, *Hewlett Packard*, 1990