

ESTUDO DE SÓLITONS ÓPTICOS

Aline Santos Ferreira¹

aline.ferreirasts@gmail.com
Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Regina Maria Ricotta

regina@fatecsp.br
Faculdade de Tecnologia de São Paulo

1. Introdução

Estudados por J. Scott Russel, em 1834, sólitons são ondas solitárias, de velocidade definida, que devido à compensação entre efeitos de dispersão e não linearidade se propagam por longas distâncias sem perder a forma, [1], [2]. Num sistema de transmissão óptica, pulsos ópticos na forma de ondas guiadas viajam através de uma fibra óptica. Os efeitos de caráter dispersivo fazem com que o pulso se espalhe e eventualmente se sobreponha de modo a resultar na perda de informação. No entanto, efeitos não lineares em fibras ópticas podem ser usados para compensar a distorção do sinal, ou seja, o pulso óptico inicial pode tender a formar um pulso estável denominado, sóliton óptico, [1], [2]. O presente trabalho, tem como objetivo o estudo da propagação de sólitons em fibras ópticas, descrita pela equação de Schrödinger não linear, NLSE.

2. Metodologia

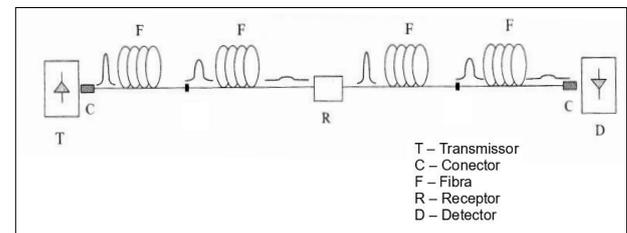
2.1 Propagação de um Pulso em Fibra Óptica

Uma fibra óptica consiste em um guia de ondas cilíndrico, em que o núcleo dielétrico através do qual o sinal passa está envolvido por uma casca dielétrica de índice de refração menor. Por meio dos índices de refração diferentes entre núcleo e casca, obtém-se o fenômeno de reflexão total interna, o que torna possível a contenção e orientação da luz no interior do núcleo [2].

Nos sistemas de comunicação digital, a informação a ser enviada é primeiramente codificada na forma de pulsos de luz, os quais são posteriormente transmitidos do transmissor para o receptor onde a informação é decodificada. Quanto maior o número de pulsos que podem ser enviados por unidade de tempo e ainda serem resolvidos no receptor, maior será a capacidade de transmissão do sistema. A Figura 1 mostra uma

representação esquemática de um Sistema típico de comunicação de fibra óptica [2].

Figura 01 – Sistema típico de comunicação de fibra óptica. As informações são enviadas através de pulsos óptica.



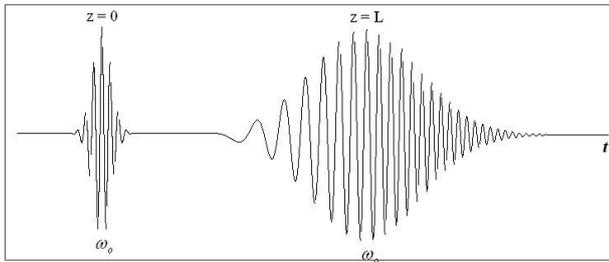
Fonte: Ghatak. A e Thyagarajan. K. (1994) [2].

Entretanto, um pulso de luz enviado para uma fibra se amplia com o tempo à medida que se propaga através da fibra, esse fenômeno é conhecido como dispersão de pulso. A dispersão de pulso representa uma das características mais importantes de uma fibra óptica, pois determina a capacidade de transporte de informações do sistema [2].

2.2 Efeito Dispersivo Linear: Dispersão de Velocidade de grupo (GCD)

Dentre os efeitos dispersivos lineares em fibras ópticas, destaca-se a dispersão de velocidade de grupo (GVD) ou dispersão material, caracterizada pelo alargamento temporal do pulso, que ocorre devido a largura espectral da fonte de luz dada a dependência de cada comprimento de onda do pulso com o índice de refração do meio. Considerando que qualquer fonte de luz teria uma certa largura espectral ($\Delta\lambda_0$), onde λ_0 é o comprimento de onda característico da fonte, um pulso de luz enviado a uma fibra se amplia com o tempo à medida que se propaga através do meio devido a cada um de seus componentes espectral viajar com uma velocidade de grupo V_g diferente. Pontua-se que esta ampliação do envelope de pulso é acompanhada pela mudança contínua da frequência, sendo o pulso denominado chirped pulse. A Figura 2 apresenta o efeito *chirping* associado ao alargamento causado pela dispersão da velocidade de grupo [2].

Figura 02 – Chirping associado ao alargamento causado pela dispersão da velocidade de grupo (GVD).



Fonte: Ghatak. A e Thyagarajan. K. (1994) [2].

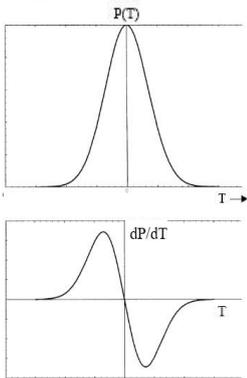
2.3 Efeito Não Linear: Automodulação de Fase (SPM), Efeito Kerr

Em fibras ópticas de sílica, a não linearidade pode se manifestar pela dependência do índice de refração n com a intensidade I (potência), dada por $n = n_0 + n_2 I$ (1)

onde n_0 é o índice de refração da parte linear (para baixa intensidade), n_2 é o coeficiente do índice de refração não linear e $I = P/A_{eff}$ é a intensidade efetiva dentro do meio, com P sendo a potência transportada pelo modo e A_{eff} a área efetiva do modo da fibra.

A variação do índice de refração dependente da intensidade (Efeito Kerr) em um meio óptico não linear leva ao fenômeno de Automodulação de Fase (SPM), representado na Figura 3.

Figura 03 – Fenômeno de Automodulação de Fase (SPM).



Fonte: Ghatak. A e Thyagarajan. K. (1994) [2].

Como consequência a ampliação do espectro do pulso mantém a forma temporal inalterada. Este efeito também gera um chirping de frequência no pulso oposto ao chirping gerado pela dispersão linear.

Dessa forma, considerando o regime de dispersão anômala ou dispersão negativa ($d^2n/d\lambda^2 < 0$) e o comprimento operacional da fibra acima do comprimento de onda de dispersão zero ($\lambda_0 > 1550\text{nm}$) é possível atingir uma situação de equilíbrio em que há a propagação do pulso sem distorções, nos domínios do tempo e

frequência, por uma compensação mútua de chirpings de dispersão e SPM. Assim é gerado um pulso de perfil permanente da forma secante hiperbólica, para um dado nível de potência de pico, denominado, sóliton óptico, descrito pela equação de Schrödinger não linear, NLSE

$$i \left(\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \right) - \frac{1}{2} \alpha \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \Gamma |f|^2 f = 0 \quad \text{Vg} \frac{\partial t}{\partial z} \quad (2)$$

onde o primeiro termo representa a onda livre; o segundo, o termo de dispersão (proporcional a α) e o terceiro, o termo não linear (proporcional a Γ). A solução de (2) é dada por (3)

$$f(z,t) = E_0 \operatorname{sech} [\gamma (t - z/V_g)] \exp(-igz) \quad (3)$$

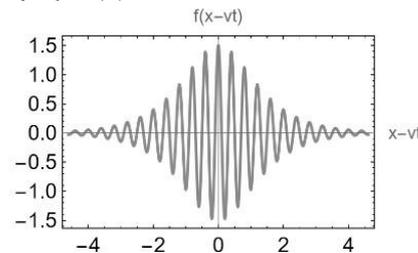
onde

$$g = -\frac{1}{2} \alpha \gamma^2 = \Gamma E_0^2$$

3. Resultados

A equação (3) corresponde ao perfil do tipo secante hiperbólico de amplitude E_0 , característico da onda sóliton, representado na Figura 4.

Figura 04 – Perfil de onda sóliton, dado pela parte real da equação (3).



Fonte: Autor.

4. Conclusões

A compensação mútua entre efeitos dispersivos e não lineares, gera um pulso de perfil permanente denominado, sóliton óptico, que se propaga por longas distâncias. Desse modo, verifica-se que ondas solitônicas apresentam apreciável potencial de aplicação tecnológica em sistemas de comunicação óptica, uma vez que tais efeitos possibilitam a compensação da distorção de sinal.

Referências

- [1] M. Remoissenet, Waves called solitons: concepts and experiments, Springer-Verlag, 1999.
- [2] A. Ghatak and K. Thyagarajan, Introduction to Fiber Optics, Cambridge University Press, 1994.

¹ Aluna de IC do CNPq-PIBIC.