

ACOPLADOR TRIPLO TRIANGULAR E APLICAÇÕES VOLTADAS PARA O PROCESSAMENTO LÓGICO TOTALMENTE ÓPTICO

Juscelino Chaves Sales

Departamento de Engenharia de Teleinformática – UFC
Campus do Pici - Bloco 930 CEP: 60455-760 Fortaleza-CE Brasil
E-mail: juscelinochaves@hotmail.com

Alisson da Conceição Ferreira

Departamento de Engenharia de Teleinformática – UFC
Campus do Pici - Bloco 930 CEP: 60455-760 Fortaleza-CE Brasil
E-mail: alisson_acf@yahoo.com.br

José Wally Mendonça Menezes

Departamento de Física – UFC
Campus do Pici - Bloco 930 CEP: 60455-760 Fortaleza-CE Brasil
E-mail: wally@fisica.ufc.br

Antonio Francisco Gomes Furtado Filho

Departamento de Engenharia de Teleinformática – UFC
Campus do Pici - Bloco 930 CEP: 60455-760 Fortaleza-CE Brasil
E-mail: antfilho2004@hotmail.com

José Silva de Almeida

Departamento de Engenharia de Teleinformática – UFC
Campus do Pici - Bloco 930 CEP: 60455-760 Fortaleza-CE Bra
E-mail: nanojoseph@hotmail.com

Antônio Sérgio Bezerra Sombra

Departamento de Física – UFC
Campus do Pici - Bloco 930 CEP: 60455-760 Fortaleza-CE Brasil
E-mail: sombra@fisica.ufc.br

RESUMO

Estudamos numericamente o mecanismo de chaveamento em um acoplador triplo de fibras ópticas, em uma estrutura triangular simétrica com o objetivo de implementar portas lógicas ópticas. Para tal fim utilizamos pulsos ultracurtos. Para a configuração proposta, ao primeiro núcleo (canal 1) do acoplador triangular é aplicado um pulso com uma diferença de fase em relação aos demais núcleos do acoplador, canais 2 e 3 (que são as entradas I1 e I2) que são excitados de acordo com a sequência de combinações $(I1;I2) = [(0;0), (0;1), (1;0), (1;1)]$. Utilizamos simulações numéricas computacionais da equação não-linear de Schrodinger, que governa a propagação do pulso óptico em cada braço do dispositivo acoplador triplo. A ferramenta de software utilizada foi o Matlab 7.0 e o método numérico foi o Runge-Kutta de quarta ordem. Através do estudo numérico da razão de extinção, conseguimos implementar as seguintes lógicas: AND, OR e NXOR. O contexto que se desenha com os resultados alcançados neste ramo de pesquisa, é a de se imaginar num futuro não muito distante, a viabilidade de processamento lógico totalmente óptico, ou seja, uma computação óptica, com novos dispositivos mais rápidos e com uma capacidade maior de processamento de dados.

PALAVRAS-CHAVE: Acopladores fibra; portas lógicas; processamento óptico.

1. INTRODUÇÃO

O aumento contínuo da velocidade dos sistemas de transmissão de telecomunicações tem despertado o interesse de se conseguir dispositivos totalmente ópticos capazes de processar e tratar informações a velocidades ultra-rápidas. Neste sentido vários dispositivos ópticos, passivos ou ativos, foram e continuam sendo desenvolvidos para este propósito. Entre estes dispositivos, podemos citar os acopladores, que desempenham um papel extremamente importante em circuitos ópticos, e em particular, no estudo de chaveamento de energia a níveis ultra-rápidos.

2. ACOPLADORES FIBRA

Acopladores fibra, também conhecidos como acopladores direcionais, são um dos dispositivos essenciais em sistemas ópticos. Regularmente são utilizados em diversos outros dispositivos ópticos que necessitam da divisão do feixe óptico em outros dois feixes coerentes, por exemplo, mas fisicamente separados (e vice-versa). Embora a maioria das aplicações de acopladores fibra utilizem suas características lineares, desde 1982 seu comportamento em regime não linear vem despertando um grande interesse dos pesquisadores por suas aplicações em processamento óptico ultra-rápido como chave óptica. Aplicações em optoeletrônica e telecomunicações são os principais motivos que têm estimulado os grupos de pesquisa a estudarem mais detalhadamente esses dispositivos. Agrawal(2001)

Os acopladores têm sido fabricados usando guias de ondas planares, bem como têm sido extensivamente estudados no contexto dos LiNbO_3 e guias de ondas semicondutores. Nesta dissertação, estaremos focados exclusivamente em acopladores direcionais baseados em fibras.

Em óptica integrada, a fabricação de acopladores ópticos se dá por meio do crescimento, ou deposição, de materiais com índices de refração diferentes de forma a construir uma estrutura multicamadas. No caso de acopladores baseados em fibra, é necessária uma modificação na estrutura de acoplamento de maneira a aproximar os núcleos das fibras. Para este fim, três métodos básicos têm sido desenvolvidos na literatura:

- Retirada da maioria da camada de casca por meio de corrosão química.
- Remoção parcial da camada de casca em ambas as fibras por meio de um polimento mecânico controlado.
- Fusão de duas, ou mais, fibras após um leve entrelaçamento entre elas e um posterior aquecimento.

Seja qual for o tipo de acoplador escolhido, fibra ou óptica integrada é possível produzir diferentes taxas de acoplamento pela simples variação das condições de propagação em cada um dos guias.

2.1. CARACTERÍSTICAS DOS ACOPLADORES.

Acopladores fibra são, na sua versão mais simples, constituídos de duas fibras ópticas paralelas separadas por uma distância “d”, conforme mostram as figuras 1.1a e 1.1b, e são regularmente usados para uma variedade de aplicações relacionadas a fibras ópticas Agrawal(2001). Seus núcleos são bastante próximos de maneira que os modos fundamentais de propagação de cada núcleo sobrepõem-se parcialmente na região da casca entre os dois núcleos. Tal acoplamento de onda evanescente entre os dois modos provoca a transferência da potência óptica de um núcleo para o outro. Esta transferência de potência está diretamente relacionada com a potência crítica P_C , que é a potência necessária para se obter uma transferência de 50% entre os guias do acoplador Ghatak(1999). A potência crítica para um acoplador dada por:

$$P_C = \frac{S\lambda}{n_{NL}L_c} \quad (1.1)$$

em que S representa a área de seção transversal efetiva do guia de onda, λ é o comprimento de onda no vácuo, n_{NL} é o índice de refração não linear e L_c é o comprimento de acoplamento necessário para a transferência de um guia para outro. Para o acoplador da figura 1.1a, o comprimento L_c é definido como:

$$L_C = \frac{\pi}{2K} \quad (1.2)$$

sendo K o coeficiente de acoplamento linear entre os guias adjacentes. Como podemos verificar pelas equações (1.1) e (1.2), a potência crítica é inversamente proporcional ao comprimento de acoplamento.

De um modo geral, os acopladores, na sua configuração mais simples, são geralmente dispositivos de 4 portas (duas de entrada e duas de saída) cuja função é dividir coerentemente o feixe óptico incidente em uma das portas de entrada e direcioná-lo para as portas de saída.

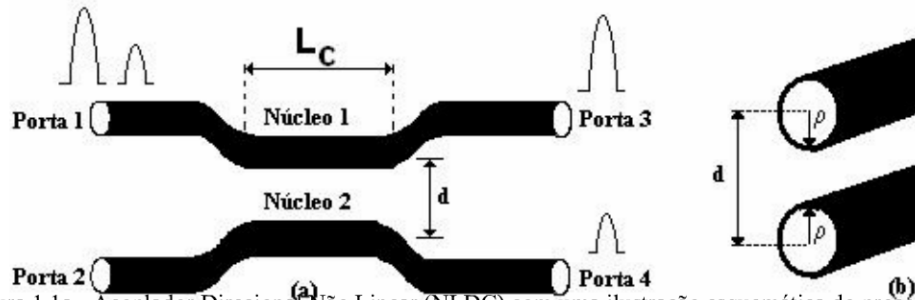


Figura 1.1a - Acoplador Direcional Não Linear (NLDC) com uma ilustração esquemática do processo de chaveamento. Os pulsos aplicados na porta 1 aparecem em diferentes portas de saídas dependendo de suas potências de pico. Figura 1.1b - Seção transversal do NLDC.

Dependendo da potência de pico aplicada às entradas do acoplador, um pulso óptico pode ser direcionado para diferentes portas de saídas. A partir dos sinais aplicados à porta 1 do acoplador, figura 1.1a, temos que para baixa potência de luz (abaixo da potência crítica), o dispositivo se comporta como um acoplador linear, ou seja, o feixe óptico se propaga periodicamente entre os guias que constituem o acoplador. Por causa do acoplamento evanescente, o sinal de baixa intensidade aplicado à porta 1 é completamente chaveado para a porta 4. Se o sinal aplicado à porta 1 do acoplador apresentar uma intensidade maior (acima da potência crítica), a potência de luz simplesmente emerge no mesmo guia (porta 3).

Para o acoplador das figuras 1.1a e 1.1b, temos que “d” é a separação entre os centros dos núcleos das fibras e ρ o raio dos núcleos. Para que ocorra a interação entre os campos que se propagam nos guias do acoplador, a relação d/ρ usualmente varia entre 2 e 4 Chiang(1995), ou seja, a relação d/ρ deve ser, no mínimo, da ordem do diâmetro do núcleo das fibras que constituem o acoplador Droulias(2004).

2.1.2 ACOPLADOR DIRECIONAL TRIPLO TRIANGULAR DE FIBRA ÓPTICA.

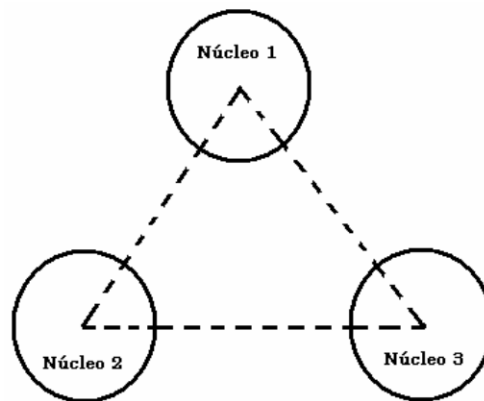


Figura 1.2 - Acoplador direcional triplo triangular.

A figura 1.2 apresenta o esquema de um acoplador triplo triangular. O sistema de equações que descrevem esta configuração está fundamentado nas equações não lineares de Schorödinger acopladas. Desconsiderando as perdas, ou seja, assumindo que $\alpha=0$, o sistema de equações normalizadas que descrevem este acoplador é dado por:

$$i \frac{\partial u_1}{\partial \xi} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u_1}{\partial \tau^2} + |u_1|^2 u_1 + K(u_2 + u_3) = 0 \quad (1.3)$$

$$i \frac{\partial u_2}{\partial \xi} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u_2}{\partial \tau^2} + |u_2|^2 u_2 + K(u_1 + u_3) = 0 \quad (1.4)$$

$$i \frac{\partial u_3}{\partial \xi} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u_3}{\partial \tau^2} + |u_3|^2 u_3 + K(u_2 + u_1) = 0 \quad (1.5)$$

2.1.3. PORTAS LÓGICAS

As portas lógicas são os componentes básicos para criar circuitos digitais e até mesmo circuitos integrados complexos como, por exemplo, os processadores e microcontroladores. O comportamento das portas lógicas é conhecido pela tabela verdade que apresenta os estados lógicos das entradas e das saídas. Temos sete tipos de portas lógicas, são elas: AND, NAND, OR, NOR, XOR, NXOR e NOT. Kaup(1997)

Em eletrônica digital apenas dois números são permitidos, “1” e “0”. Para uma analogia podemos pensar nos números “1” e “0” como uma lâmpada sendo acesa ou apagada quando você liga ou desliga um interruptor.

3. PORTAS LÓGICAS ÓPTICAS COM ACOPLADOR DIRECIONAL NÃO LINEAR TRIPLO TRIANGULAR SIMÉTRICO DE FIBRAS ÓPTICAS OPERANDO COM SINAL PICOSEGUNDO (2PS).

Neste trabalho, apresentamos o modelo teórico proposto para implementação de portas lógicas totalmente ópticas, aplicando pulsos na forma de sóliton fundamental, operando com sinal picosegundo (2ps) de largura. Para tal fim, obtemos as características de transmissão do acoplador e, em seguida, fizemos à análise do coeficiente de extinção, em unidades de dB, a partir da qual conseguimos efetivar as portas lógicas AND, NAND, OR, XOR e NOT. Friberg(1988)

Similarmente, obteremos as características de transmissão de energia entre os núcleos, calcularemos numericamente a partir das saídas O_1 e O_2 o coeficiente de extinção e o fator de compressão (CF). A análise do fator de compressão nos permitirá verificar se ocorreram quebras no pulso, bem como, se o mesmo manteve a sua forma, sofreu alargamento ou compressão temporal após propagação no acoplador. Em nosso estudo, consideramos a influência dos efeitos da dispersão de velocidade de grupo (β_2) e que o acoplador é constituído por fibras idênticas, sob todos os aspectos, com não linearidade descrita pelo efeito Kerr e, de modo similar ao caso CW, desconsideramos as perdas e ganhos. Menezes(2006)

4. RESULTADOS NUMÉRICOS E DISCUSSÕES

Consideramos que os valores positivos de XR1(dB) ou XR2(dB), referem-se ao sinal lógico “1” e, os valores negativos, ao sinal lógico “0”, zero. Em todos os casos, o nível lógico “1”, que excita as entradas do acoplador, refere-se a uma potência de 1 W. Ao longo deste capítulo, seguiremos a mesma dinâmica para a análise das combinações (CS; I₁; I₂), apresentada para o caso CW.

A figura 4.1 exibe a forma do pulso solitônico de baixa energia (abaixo da potência crítica), com 2ps de largura o qual será aplicado às entradas do acoplador.

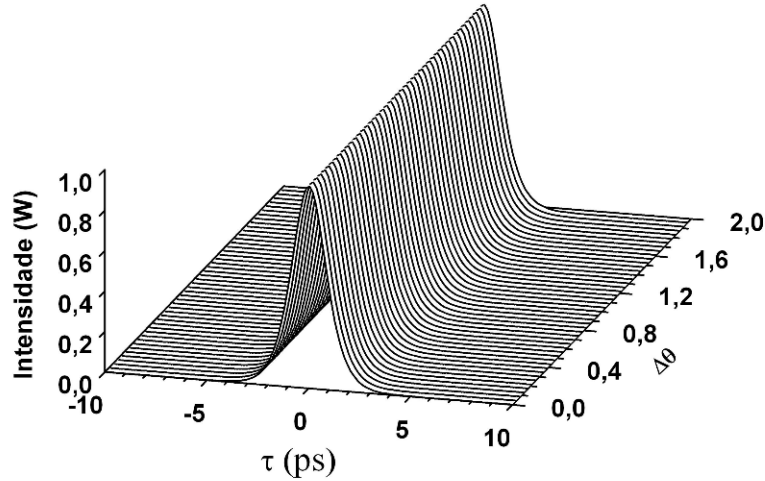


Figura 4.1 - Pulsos solitônicos (2ps) aplicado às entradas do acoplador.

5. CONCLUSÕES

Utilizando o acoplador proposto e apresentado operando com pulsos na forma de sóliton fundamental, com 2ps de largura, realizamos uma investigação numérica com o objetivo de implementar portas lógicas totalmente ópticas. Em nosso estudo, consideramos a influência dos efeitos da dispersão de velocidade de grupo (β_2) e que o acoplador é constituído por fibras idênticas, sob todos os aspectos, com não linearidade descrita pelo efeito Kerr, sendo desconsiderados as perdas e ganhos.

Selecionamos as mesmas fases aplicadas ao sinal de controle no caso CW, já que, no caso pulsado, estas fases apresentaram os melhores valores para o coeficiente de extinção, além de podermos comparar o comportamento do dispositivo operando com onda contínua (CW) ou com sinais pulsados (2ps). Um outro fator é que poderemos também comparar, de modo bastante geral, o acoplador sugerido neste trabalho com um acoplador duplo assimétrico estudado por nosso grupo de pesquisa do LOCEM, que também opera com sinais solitônicos de 2ps de largura.

Similarmente ao caso CW, conseguimos efetivar portas lógicas AND, NAND, OR, XOR e NOT. Com o sinal de controle fixo em 1 ($\Delta\Phi=\Delta\theta\pi$), somente a fase $\Delta\Phi=1,81\pi$ proporcionou a efetivação de portas lógicas AND e NAND e, da mesma forma, variando o sinal de controle (CS=1 ou CS=0), a fase $\Delta\Phi=0,63\pi$ proporcionou o maior número de portas lógicas (AND, NAND, OR, XOR e NOT), seguida da fase $\Delta\Phi=1,81\pi$ (AND, NAND, XOR e NOT) e, finalmente, a fase $\Delta\Phi=1,28\pi$ (NOT). A porta AND foi a lógica mais implementada, com seis possibilidades distintas de implementação, de acordo com as variações do sinal de controle, seguida das portas NAND e XOR, com três possibilidades. Do mesmo modo, a fase $\Delta\Phi=0,63\pi$ foi a única a implementar a porta OR, ao passo que a porta NOT foi a única que pôde ser efetivada com as três fases selecionadas.

Em relação ao fator de compressão nas saídas do acoplador, verificamos que para a combinação com CS=0, sempre ocorrem alargamentos temporais, assim para (CS; I_1 ; I_2) = (0; 1; 0), os pulsos alargam em torno 46,20%, ao passo que para a combinação (CS; I_1 ; I_2) = (0; 1; 1), os pulsos alargam por volta de 23%, mas em ambos os casos os pulsos não apresentam quebras ou satélites.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrawal, G. P., *Applications of Nonlinear Fiber Optics*, Academic Press, New York, 2001.
Chiang, K. S., *Opt. Lett.* 20(9) (1995), 997.

Droulias, S. and *et al.*, *Switching dynamics in nonlinear directional fiber couplers with intermodal dispersion*, Opt. Comm., vol 240, pp. 209-219, 2004.

Friberg, S. R., and *et al.*, *Femtosecond switching in a dual-core-fiber nonlinear coupler*, Optics Letters, Vol. 13, pp. 904-906, 1988.

Ghatak, A. K. and Thyagarajan, K., *Introduction to Fiber Optics*, Cambridge University Press, New York, 1999, Chap. 17.

Menezes, J. W. M. , Fraga ,W. B. F., Silva ,M. G. da , Ferreira,A. C. and Sombra,A. S. B. *“Logic gates based in two and three-modes nonlinear optical fiber couplers”*, IEEE Journal of Lightwave Technology (submitted).(2006)

Kaup, D. J., and *et al.*, *Asymmetric solitons in mismatched dual-core optical fibers*, J. Opt. Soc. Am B vol14, pp 1199, 1997.