

Medida do ganho de conversão em comprimento de onda utilizando amplificador óptico a semicondutor e laser com modulação direta

André L. Rayol Cavalcante, Cristiano M. Gallep e Evandro Conforti, Senior Member, *IEEE*

Resumo—Apresenta-se uma técnica para medida do ganho de conversão em comprimento de onda, na qual o laser é diretamente modulado por um sinal de microondas com varredura em frequência. Parâmetros experimentais relacionados à eficiência de conversão em modulação cruzada, utilizando amplificador óptico a semicondutor, são analisados. Os resultados obtidos mostram coerência com técnicas de medidas nas quais moduladores externos ao laser são utilizados.

Palavras chave—amplificador óptico a semicondutor (SOA), conversão em comprimento de onda, modulação por ganho cruzado, redes totalmente ópticas.

Abstract—A technique for cross gain modulation (XGM) measurement, in which the laser is directly modulated by a microwave signal with frequency sweep, is presented. Important characteristics of XGM conversion method are analyzed. The results are in good agreement with techniques which use external modulators.

Index Terms—all optical networks, cross gain modulation, wavelength conversion, semiconductor optical amplifier.

I. INTRODUÇÃO

A evolução das comunicações ópticas tem possibilitado o desenvolvimento de sistemas de grande capacidade com tecnologia WDM (wavelength division multiplex), atingindo taxas de transmissão da ordem de terabits por segundo. Muitos componentes de sistemas WDM, como conversores, roteadores e multiplexadores, estão baseados em um dispositivo compacto e de grande versatilidade: o amplificador óptico a semicondutor (SOA). Estes componentes ópticos se utilizam das características não lineares do SOA, além de se beneficiarem de suas reduzidas dimensões. Redes totalmente ópticas [1] têm sido largamente estudadas por seu potencial e superior desempenho face ao domínio elétrico. De fato, em redes eletro-ópticas, algum tipo de penalidade em relação ao desempenho é verificada sempre

que se faz a transição entre os domínios óptico e elétrico, sendo este um dos principais motivos para o desenvolvimento de dispositivos totalmente ópticos. Como componente promissor para as redes totalmente ópticas, conversores totalmente ópticos [2] são dispositivos onde a informação contida na portadora óptica é transferida para um novo comprimento de onda, sem passagem pelo domínio elétrico. Ganha-se, com estes conversores, maior capacidade e flexibilidade, tornando possível a reutilização dos comprimentos de onda, facilidade muito conveniente em redes onde seu número é limitado. A partir dos conversores ópticos, pode-se também bloquear determinados comprimentos de onda, o que permite um gerenciamento menos centralizado da rede. Algumas das características requeridas a um conversor óptico são: transparência à taxa de bits, relação de extinção sem degradação, alta relação sinal-ruído na saída (o que permite cascatear dispositivos), níveis de sinal de entrada moderados, larga faixa de comprimentos de onda de operação (tanto na entrada como na saída), conversão para o mesmo comprimento de onda (possibilidade de não conversão), insensibilidade à polarização e simples implementação [3].

Alguns modelos de conversão, tais como XGM (modulação por ganho cruzado - cross gain modulation) [4], XPM (cross phase modulation) [5] e FWM (four-wave mixing) [2], bem como outros conversores não baseados em amplificadores ópticos a semicondutor [6], têm sido estudados e testados. Neste artigo investigam-se características de desempenho de um conversor óptico baseado em SOA. Uma técnica simples para medida da largura de banda e da eficiência de conversão do método XGM em banda larga é apresentada, sendo que os resultados obtidos estão em boa concordância com os obtidos em outras montagens apresentadas na literatura especializada.

II. MONTAGEM EXPERIMENTAL

A implementação experimental da técnica utilizada é mostrada na Fig. 1. Nela, o laser 1 é diretamente modulado em amplitude, por um sinal de microondas, com varredura em frequência, proveniente do analisador de rede. Em outros trabalhos, esta modulação é feita através de um bloco adicional, um modulador externo, como por exemplo um modulador Mach-Zehnder, que tem alto custo além de necessitar de maior potência de microondas para sua

operação. A calibração do laser diretamente modulado é feita segundo os procedimentos padrões do analisador de rede. Através das medidas de laboratório, caracterizou-se o comportamento de alguns parâmetros envolvidos na conversão em comprimento de onda. Medidas como as de largura de banda, eficiência de conversão, consumo de potência envolvido, foram realizadas para verificar as limitações e alcances do método XGM.

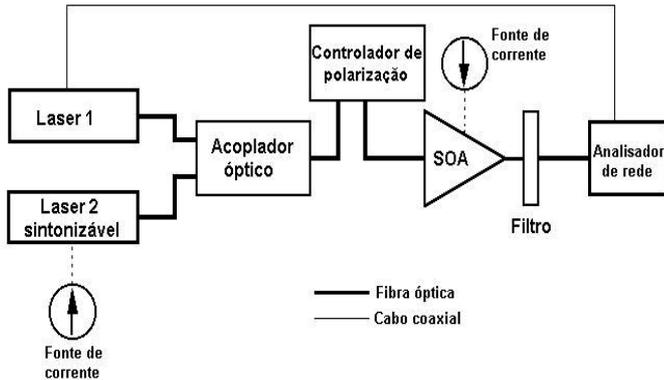


Fig. 1. Montagem experimental realizada para medição do ganho de conversão. O laser 1 é diretamente modulado.

O princípio do XGM é demonstrado na Fig. 2. O sinal modulado em amplitude, de comprimento de onda λ_1 , é injetado no amplificador e modula o ganho do SOA devido à sua saturação. Um segundo sinal, de onda contínua, em um comprimento de onda λ_2 previamente escolhido, é também injetado no amplificador. Este sinal é então modulado pela variação do ganho do SOA. Desta maneira, o sinal de saída em λ_2 terá a mesma informação que o sinal em λ_1 . Um filtro na saída do SOA pode eliminar o sinal em λ_1 . O esquema contra-propagante permite que o sinal de entrada seja convertido em um sinal de mesmo comprimento de onda (possibilitando a não conversão). Neste caso, o filtro não é utilizado. Nos dois casos, o sinal de saída aparece invertido com relação ao sinal de entrada.

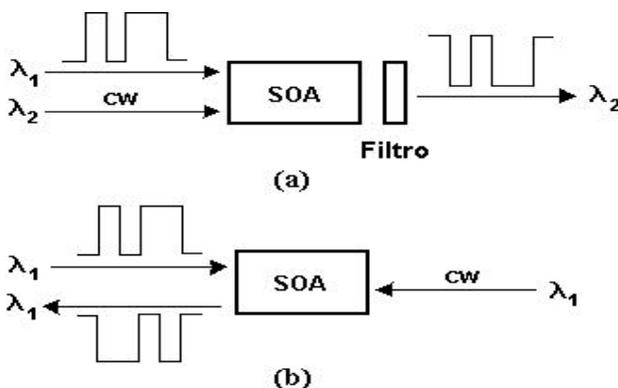


Fig. 2. (a) Esquema XGM co-propagante. (b) Esquema XGM contra-propagante.

Na montagem utilizada (ver Fig. 1), o sinal do laser 1 foi modulado em amplitude por um sinal do analisador de redes cuja varredura excursionava entre 300 MHz e 6 GHz. Desta

maneira pôde-se observar como a conversão variava com a frequência. O laser 2 é sintonizável, com potência de saída também ajustável. O controlador óptico de polarização foi empregado de forma a maximizar o ganho óptico do SOA. Apesar de ter-se utilizado um amplificador sensível à polarização, sabe-se que o XGM não dependerá da polarização caso utilizem-se amplificadores ópticos não sensíveis à polarização [3]. Os comprimentos de onda utilizados foram λ_1 igual a 1.541 nm (para o laser 1) e λ_2 igual a 1.568 nm (para o laser 2). O filtro presente na montagem possuía um pico de rejeição em λ_1 de tal modo que ficasse garantida uma diferença de intensidade acima de 30 dB entre os sinais ópticos dos comprimentos de onda utilizados. As medidas foram realizadas segundo a seguinte ordem: fixava-se uma corrente para o laser sintonizável (esta corrente modificava a potência de entrada no amplificador, já que para o laser 2 quanto maior sua corrente, maior sua potência de saída) e variava-se a corrente de polarização do SOA. Para cada corrente deste, era feita a aquisição de dados. Depois de se variar a corrente do SOA a todos os valores desejados, uma nova potência óptica era injetada na entrada do amplificador, através da modificação da corrente do laser sintonizável, recomeçando o processo de aquisição de dados. As medidas foram coletadas com o auxílio de programa de aquisição de dados desenvolvido no software Igor Pro (versão 4.03). O programa se utiliza da interface IEEE 488.2 do analisador de redes e transfere para o computador um total de 1601 pontos dentro da janela de operação do dispositivo, que vai de 300 MHz a 6 GHz.

III. RESULTADOS

Três curvas foram escolhidas de modo que fosse possível comparar as variações ocorridas na conversão XGM, em função das diferentes potências de entrada do amplificador óptico. Cada uma das curvas possibilita também verificar como o ganho de conversão em comprimento de onda se comporta com relação a frequência, bem como, a influência da corrente de polarização do SOA na conversão. A Fig. 3 é apresentada a seguir.

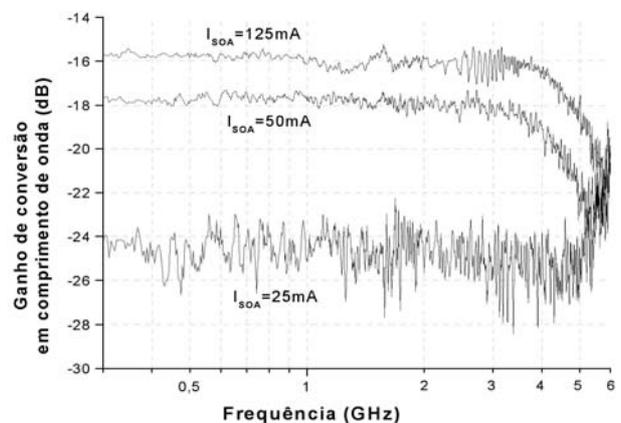


Fig. 3. Ganho de conversão em comprimento de onda. Curvas tomadas para correntes de polarização do amplificador óptico de 25mA, 50mA e 75mA. Potência do laser sintonizável: $-11,6$ dBm.

Como esperado, o ganho de conversão aumenta com o aumento da corrente de polarização do amplificador. Entretanto, deve-se notar que após um valor mediano de corrente do SOA não há ganho significativo na conversão. Nota-se também um pequeno aumento da largura de banda quando aumenta-se a corrente de polarização do SOA. A variação na largura de banda e seu possível aumento, bem como os parâmetros que a modificam, serão discutidos mais a frente.

Na calibração do analisador de rede utilizou-se o mesmo diagrama que foi apresentado na Fig. 1, com exceção do laser sintonizável, do amplificador e do filtro. A perda de inserção do filtro já foi compensada quando da geração das curvas, mas deve-se observar que o ganho do SOA está presente nas curvas apresentadas.

A Fig. 4 é apresentada para uma potência do laser sintonizável de valor igual a $-4,32$ dBm.

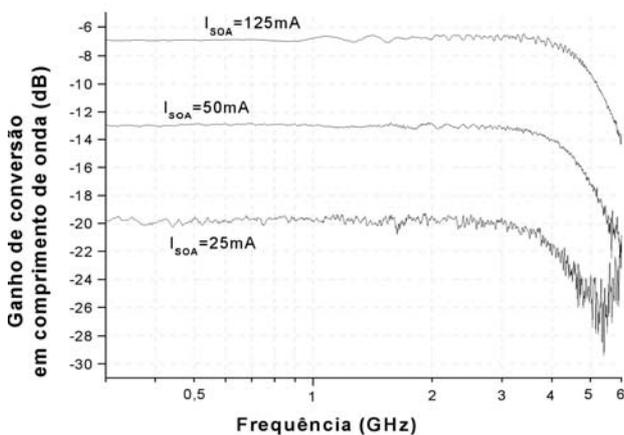


Fig. 4. Ganho de conversão em comprimento de onda. Potência do laser sintonizável: $-4,32$ dBm.

Comparando as curvas da Fig. 3 e da Fig. 4 pode-se verificar uma melhora na conversão quando a potência óptica de entrada é aumentada.

A Fig. 5 apresenta a variação nas curvas com o aumento da potência óptica de entrada do SOA. O ganho de conversão volta a aumentar, até que, a partir de um determinado valor de potência óptica, este crescimento passa a ser não significativo, como pode-se verificar comparando-se as curvas da Fig. 4 e da Fig. 5.

No experimento, a partir da potência no valor $-5,68$ dBm do laser sintonizável, até a potência no valor de $0,18$ dBm, não se verifica aumento considerável do ganho. Em termos de intensidade, tais valores correspondem a uma diferença de potência da ordem de $5,9$ dB. Deste modo, confirma-se que o XGM não apresenta necessidade de alta potência de entrada. Seu bom funcionamento em relação a conversão se verifica a moderados níveis de sinal de entrada.

Outra medida feita em laboratório foi a do comprimento do SOA. Observando-se os intervalos entre as ondulações presentes no sinal da ASE (amplitude spontaneous emission) do amplificador, pôde-se estimar o seu comprimento como da ordem de 640 μm . Esta é uma medida muito importante, pois

a largura de banda do XGM está relacionada com o comprimento do SOA que está sendo utilizado.

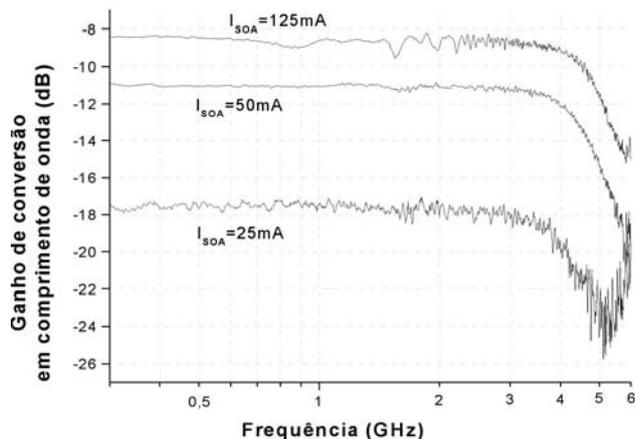


Fig. 5. Ganho de conversão em comprimento de onda. Potência do laser sintonizável: $0,18$ dBm.

Inicialmente acreditava-se que a largura de banda era limitada pela taxa de recombinação diferencial dos portadores [7]. Estudos posteriores mostraram que efeitos de propagação dentro do SOA aumentam a largura de banda do XGM além do esperado, caso fossem considerados somente os efeitos relativos à taxa de recombinação diferencial dos portadores. De fato, no ponto operacional de início do amplificador, a resposta dos portadores é lenta, a saturação destes é vagarosa devido à relativa baixa potência neste ponto. Desta maneira, o SOA opera como um filtro passa-alta. Tal comportamento provoca distorções nos pulsos injetados na entrada do dispositivo, que passam a ter picos em suas transições. Este fenômeno ocorre na região intermediária da cavidade do SOA. É por causa destes picos que os portadores da metade final do amplificador passam a ter resposta mais rápida, pois são mais rapidamente saturados. Além disso, este é um ponto da cavidade onde a taxa de recombinação dos portadores é altamente estimulada. Como consequência destes efeitos, tem-se o aumento da largura de banda do método XGM. O aumento desta característica através da utilização de um dispositivo de maior comprimento ou através do cascadeamento de SOAs já foi demonstrado [7]. Incrementos na largura de banda podem também ser obtidos pelo aumento na corrente de polarização, na potência óptica de entrada, no fator de confinamento e no ganho diferencial [3]. Estudos teóricos preliminares dos autores também evidenciam este fato.

Apesar do XGM se apresentar como um método de conversão em comprimento de onda bastante eficiente e de notável simplicidade de implementação, ele possui algumas limitações. A mais prejudicial é certamente a de que a conversão não apresenta as mesmas características quando realizada de comprimentos de onda mais baixos para comprimentos de onda mais altos. Nestes casos, há degradação do sinal, o que compromete o cascadeamento dos SOAs e penaliza o processo em um maior consumo de potência. Este problema poderia ser bastante reduzido através

do emprego do XPM [3].

IV. CONCLUSÃO

Uma forma de implementação mais simples, da técnica de medida, em banda larga, do ganho de conversão em comprimento de onda utilizando SOA é apresentada com bons resultados. Nesta, emprega-se a modulação direta do laser que gera a portadora luminosa. Desempenhos similares são alcançados, se comparados a montagens onde são utilizados moduladores ópticos externos. Cascadeamento de amplificadores na montagem, comportamento das ondulações nas curvas de ganho, bem como simulações computacionais, são algumas sugestões para futuros trabalhos.

V. REFERÊNCIAS

- [1] Ian White, Richard Penty, Matthew Webster, Yew Jun Chai, Adrian Wonfor and Sadegh Shahkoon, "Wavelength Switching Components for Future Photonic Networks," *IEEE Communication Magazine*, pp. 74-81, setembro 2002.
- [2] Dimitris Syvridis, "All Optical Wavelegth Converters Based on Semiconductor Optical Amplifiers," *IEEE*, 2000, pp. 65-71.
- [3] T. Durhuus, B. Mikkelsen, C. Joergensen, and K. E. Stubkjaer, "All Optical Wavelegth Conversion by Semiconductor Optical Amplifiers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, pp. 942-954, junho 1996.
- [4] C. Joergensen et al., "All Optical Wavelegth Conversion at Bit Rates above 10Gb/s Using Semiconductor Optical Amplifier," *IEEE*, vol. 3, pp. 1168-1180, outubro 1997.
- [5] T. Durhuus, C. Joergensen, B. Mikkelsen, R. j. s. Pedersen, and K. E. Stubkjaer, "All Optical Wavelegth Conversion by SOA's in a Mach-Zehnder Configuration," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 6, pp. 53-55, janeiro 1994.
- [6] W. Idler et al., "Wide range 2.5 Gbits/s Wavelength Conversion With Tunable Y-laser," in *Proc. ECOC'92*, Berlim, Alemanha, setembro 1992, pp. 449-452.
- [7] Marcenac, A. E. Kelly, D. Nettet, and D. A. O. Davies, "Bandwidth enhancement of wavelegth conversion via cross-gain modulation by semiconductor optical amplifier cascade," *Electronics Letters*, vol. 31, pp. 1442-1443, agosto 1995.