

BỘ TÁI TẠO TÍN HIỆU 2R TOÀN QUANG DỰA TRÊN NGUYÊN LÝ HIỆU ỨNG PHI TUYẾN TỰ ĐIỀU PHA

NGUYỄN THANH NAM, BÙI TRUNG HIỀU

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Bộ tái tạo tín hiệu quang 2R thực hiện nhiệm vụ khuếch đại và chỉnh dạng xung (Reshape), nhằm đảm bảo cho việc thu nhận tín hiệu ở điểm đích có lỗi bit không lớn hơn yêu cầu. Thông thường, việc tái tạo tín hiệu được thực hiện trong miền điện, nhưng các linh kiện điện tử không cho phép thực hiện nhiệm vụ này ở tốc độ truyền dẫn cao (khoảng 40 Gbps trở lên), vì vậy, việc tái tạo tín hiệu quang cần được thực hiện bằng các bộ tái tạo toàn quang.

Đã có nhiều đề xuất và thử nghiệm kỹ thuật tái tạo tín hiệu toàn quang. Các kỹ thuật này có thể dựa trên cơ sở ứng dụng khuếch đại quang bán dẫn, hấp thụ bão hòa hoặc hiệu ứng phi tuyến của sợi quang [1, 2].

Trong phạm vi bài báo này, trước hết chúng tôi tóm lược về hiệu ứng phi tuyến tự điều chế pha (Self Phase Modulation - SPM) để chỉ rõ sự giãn phổ tín hiệu gây ra bởi SPM. Tiếp đó, chúng tôi đưa ra mô hình mô phỏng bộ tái tạo 2R toàn quang sử dụng sợi thông thường dựa trên hiệu ứng SPM dùng để đánh giá mô phỏng và mô hình bộ tái tạo 2R toàn quang sử dụng sợi phi tuyến. Cuối cùng là một số kết quả khảo sát đạt được trên mô hình mô phỏng và những nhận xét dựa trên các kết quả đạt được.

2. GIÃN PHỔ DO HIỆU ỨNG PHI TUYẾN SPM

Thông thường, tín hiệu quang được biểu diễn dưới dạng xung hình chuông (Gauss) [3, 9]:

$$A(0, \tau) = \sqrt{P_0} U(0, \tau), \quad (1)$$

với P_0 là công suất đỉnh, $U(0, \tau)$ là xung chuông đơn vị:

$$U(0, \tau) = \exp\left(-\frac{\tau^2}{2T_0^2}\right) \quad (2)$$

trong đó, $\tau = t - (z/v_g)$ là thời gian tín hiệu, dịch chuyển tương ứng với lan truyền tín hiệu dọc sợi quang theo phương z , với vận tốc nhóm v_g ; T_0 là nửa độ rộng xung tại điểm $(1/e)$ công suất đỉnh tín hiệu.

Khi có hiệu ứng phi tuyến, các tham số suy hao α (dB/m), hệ số phi tuyến χ ($W^{-1}m^{-1}$) và hệ số tán sắc bậc hai β_2 (s^2/m) có mặt trong phương trình mô tả quá trình truyền dẫn tín hiệu quang trong sợi (phương trình Schrodinger rút gọn) [3, 4, 7]:

$$\frac{\partial A}{\partial z} + \frac{i\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial \tau^2} + \frac{\alpha}{2} A = i\gamma |A|^2 A. \quad (3)$$

Trường hợp hệ số tán sắc β_2 có ảnh hưởng không đáng kể so hệ số phi tuyến γ thì có thể bỏ qua số hạng có liên quan đến β_2 và nghiệm của (3) tại khoảng cách $z = L$ là [3, 4, 7]:

$$A(L, \tau) = \sqrt{P_0} \cdot U(0, \tau) \cdot \exp(-\alpha L) \cdot \exp[i\phi_{NL}(L, \tau)], \quad (4)$$

với $\phi_{NL}(L, \tau)$ là pha của tín hiệu tại $z = L$ [3, 4, 7]:

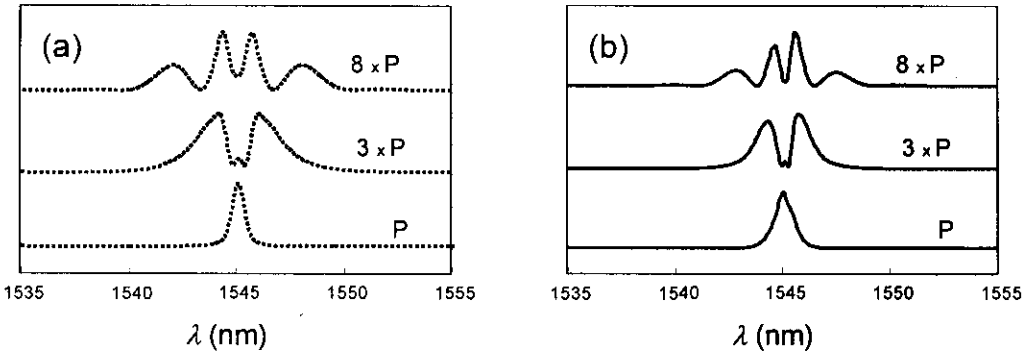
$$\phi_{NL}(L, \tau) = |U_0(0, \tau)|^2 \gamma P_0 \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha} = |U_0(0, \tau)|^2 \gamma P_0 L_{eff} \quad (5)$$

trong đó, $L_{eff} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha}$ được gọi là chiều dài hiệu dụng của sợi quang.

Hiện tượng pha tín hiệu trên đường truyền là hàm số của công suất tín hiệu tại đầu vào được biết đến là hiện tượng tự điều chế pha SPM, làm xuất hiện các tần số mới và giãn rộng băng tần phổ tín hiệu đầu ra. Độ lệch lớn nhất của các tần số mới so với tần số trung tâm sẽ là [3, 4, 7]:

$$\delta f_{max} = \frac{1}{\pi \sqrt{2e}} \frac{\gamma P_0 L_{eff}}{T_0} \quad (6)$$

Trong thực tế, điều kiện để phương trình (3) có nghiệm (4) đạt được khi công suất tín hiệu quang đưa vào sợi đủ lớn, đủ để xuất hiện SPM làm giãn rộng phổ của tín hiệu. Hình 1 dưới đây là kết quả khảo sát hiện tượng giãn phổ tín hiệu do SPM theo mô phỏng (1a) và đo đạc thực tế (1b) khi truyền xung quang Gauss qua 19 m sợi quang có các tham số $\alpha = 6,5$ dB/km, $\beta_2 = -120$ ps²/km và $\gamma = 26$ W⁻¹km⁻¹ [4].

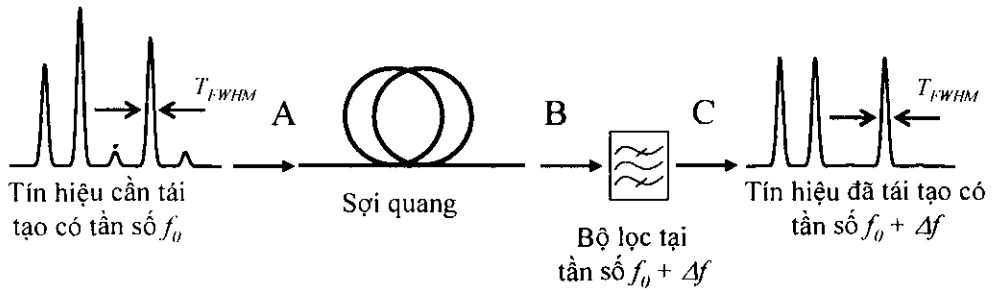


Hình 1. Giãn phổ tại đầu ra do SPM khi truyền một dãy xung quang có độ rộng nửa công suất 5 ps, tần suất 19,3 MHz, công suất trung bình $P = 126 \mu\text{W}$, $3 \times P$ và $8 \times P$ qua 19 m sợi quang theo mô phỏng (a) và đo thực tế (b).

3. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

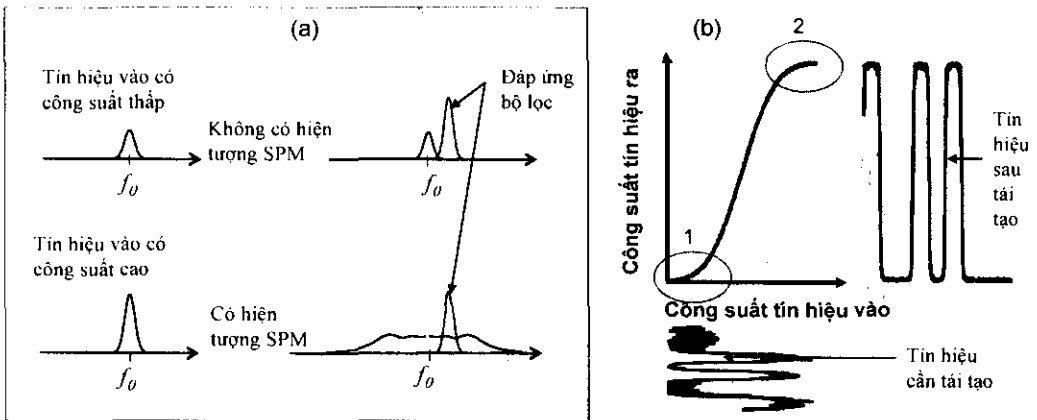
3.1. Cơ sở lý luận

Về nguyên lý, Mamyshev đã đề xuất ứng dụng SPM để tái tạo tín hiệu quang từ năm 1998 [2]. Bộ tái tạo 2R toàn quang dựa trên hiệu ứng phi tuyến SPM (từ đây đặt tên là bộ tái tạo AO2R-SPM) sử dụng một đoạn sợi quang và một bộ lọc quang thông dải dịch lệch tần số trung tâm có sơ đồ như trên hình 2.



Hình 2. Bộ tái tạo tín hiệu 2R toàn quang sử dụng sợi quang kết hợp với bộ lọc thông dải dịch lệch tần số trung tâm

Nguyên lý hoạt động của bộ tái tạo này có thể tóm tắt như sau. Khi truyền tín hiệu quang qua sợi, với công suất tín hiệu đầu vào nhỏ, phổ tín hiệu đầu ra hầu như không đổi, nhưng với công suất tín hiệu đầu vào đủ lớn, SPM sẽ làm giãn rộng phổ tín hiệu tại đầu ra. Tần số giữa dải thông của bộ lọc được chọn lệch với tần số trung tâm phổ tín hiệu đầu vào một lượng Δf , sao cho tại đầu ra bộ lọc ([7, 8]) chỉ xuất hiện tín hiệu khi công suất tín hiệu đưa vào sợi quang đủ lớn, tức là chỉ khi SPM làm giãn phổ đến mức $\delta f_{max} \geq \Delta f$. Điều này có nghĩa là các xung quang có công suất nhỏ (bit 0) không thể truyền qua được bộ lọc; các xung quang có công suất lớn (bit 1) có một phần phổ tín hiệu truyền qua bộ lọc (hình 3a). Chính sự ‘phân biệt đối xử’ này tạo ra ở bộ tái tạo hàm truyền đạt công suất gần như dạng hình chữ S, đồng thời, tín hiệu ra ‘sạch’ hơn (hình 3b).



Hình 3. Giải thích nguyên lý hoạt động (a) và hàm đáp ứng (b) của bộ tái tạo tín hiệu toàn quang dùng sợi quang phi tuyến kết hợp với bộ lọc thông dải lệch trung tâm. Vùng khoanh tròn 1 và 2 bên trái tương ứng với vùng đáp ứng tái tạo bit 0 và bit 1

3.2. Bộ tái tạo tín hiệu AO2R-SPM sử dụng sợi quang thông thường

Chúng tôi xây dựng chương trình mô phỏng nhằm mục đích khảo sát hiệu quả của bộ lặp AO2R-SPM sử dụng sợi quang thông thường kết hợp với một bộ lọc quang thông dải. Mô hình dùng trong mô phỏng giống như ở hình 2, với sợi quang có các tham số chiều dài sợi L , suy hao α , tán sắc D , hệ số phi tuyến γ và bộ lọc có các tham số dịch lệch tần số trung tâm Δf , độ rộng nửa công suất ΔF . Các tham số này có giá trị thay đổi tùy theo mục tiêu khảo sát. Để làm rõ hơn

về hiện tượng giãn phổ tín hiệu và cắt phổ của bộ lọc, chương trình mô phỏng cũng cho phép lấy ra dạng đường bao phổ tín hiệu tại các điểm A, B và C trên sơ đồ.

3.3. Bộ tái tạo tín hiệu AO2R-SPM sử dụng sợi quang phi tuyến

Các sợi quang phi tuyến được chế tạo đặc biệt có hệ số phi tuyến lớn cỡ 5000 lần ở quang thông thường. Các sợi này thường được nghiên cứu chế tạo từ vật liệu Chalcogenide [5], có diện tích lõi sợi rất nhỏ, chỉ khoảng $3,5 \mu\text{m}^2$, để tập trung công suất quang [6]. Sử dụng sợi quang phi tuyến sẽ cho phép giảm nhỏ kích thước của bộ lặp toàn quang.

Với mục tiêu đề xuất và tiến tới thiết kế bộ lặp AO2R-SPM có thể sử dụng ở các tuyến truyền dẫn quang tốc độ cao, chúng tôi đã thiết lập chương trình mô phỏng có mô hình như hình 2, sử dụng một đoạn sợi quang phi tuyến dài L . Các tham số của sợi quang phi tuyến và bộ lọc thông dải được lựa chọn dựa trên cơ sở các tham số của các phần tử đã có trong thực tế. Để khảo sát khả năng sửa dạng xung, chuỗi tín hiệu đầu vào đã được tạo công suất đỉnh các bit 1 không đồng đều và có các xung giả với các mức công suất khác nhau ở các bit 0. Kết quả được đánh giá qua biểu đồ mắt.

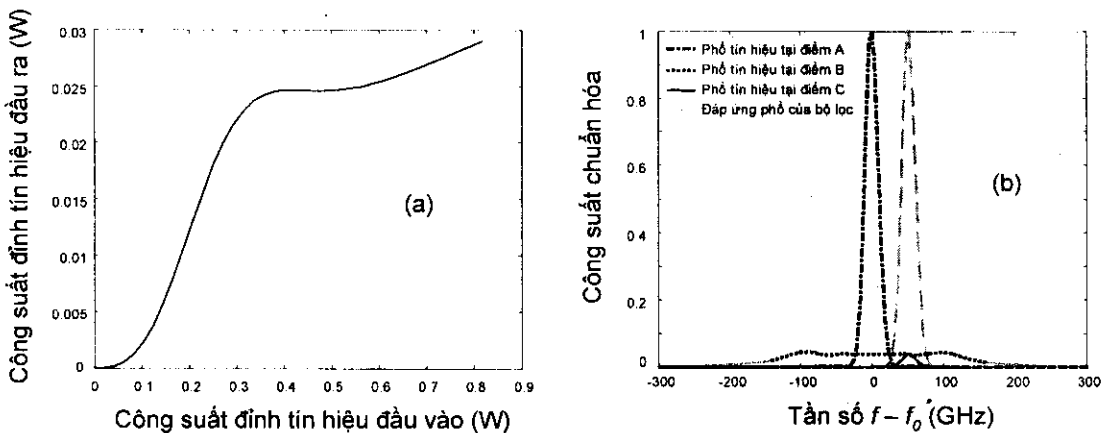
4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Bộ tái tạo AO2R-SPM sử dụng sợi quang thông thường

Với giá trị các tham số như ở bảng 1, đáp ứng của bộ lọc như ở hình 4b (đường nét đứt dài), kết quả mô phỏng cho đồ thị hàm truyền đạt công suất tín hiệu ở hình 4a và đường bao phổ tại các điểm A, B, C như trên hình 4b.

Bảng 1. Số liệu các tham số của bộ tái tạo AO2R-SPM sử dụng sợi quang thường với tín hiệu 10 Gbps, mã RZ 20%, độ rộng xung nửa công suất 20 ps và $P_0 = 0,8 \text{ W}$

| L | α | β_2 | γ | Δf | ΔF |
|-------|-----------|-------------------------|------------------------------------|------------|------------|
| 15 km | 0,2 dB/km | 1,9 ps ² /km | 3 W ⁻¹ km ⁻¹ | 22,1 GHz | 52,5 GHz |



Hình 4. Hàm truyền đạt công suất của bộ lặp AO2R-SPM sử dụng sợi quang thường (a) và dạng đường bao phổ tín hiệu đầu vào và trước, sau bộ lọc (b)

Đường cong truyền đạt công suất của bộ tái tạo (4a) gần như trùng khớp với kết quả của một vài tác giả khác [1, 2]. Điều này chứng tỏ, mô hình và chương trình mô phỏng đã đạt được kết quả với độ tin cậy cao.

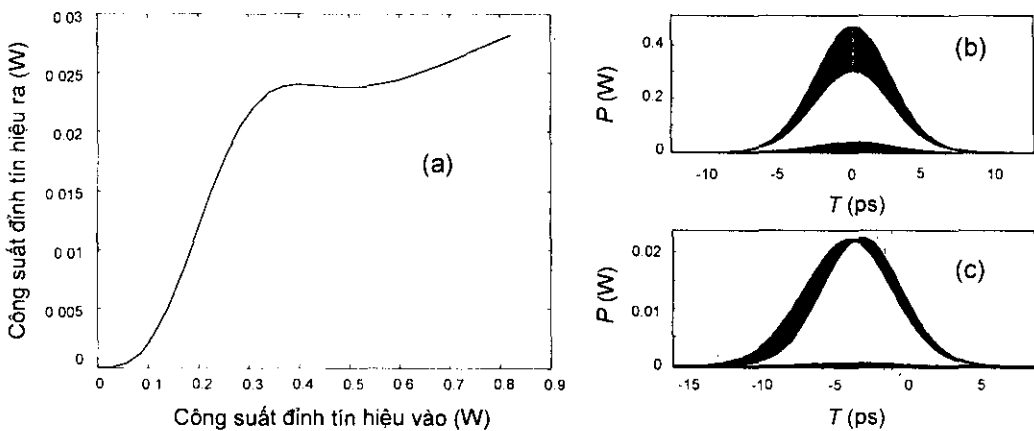
4.2. Bộ tái tạo AO2R-SPM sử dụng sợi quang phi tuyến

Các tham số của sợi quang phi tuyến và bộ lọc thông dải được chọn như trong bảng 2. Tín hiệu quang đưa vào có dạng xung Gauss với công suất đỉnh và nền không đều, tốc độ 40 Gbps, mã hóa RZ 25%, độ rộng $T_{FWHM} = 6,25$ ps.

Bảng 2. Số liệu các tham số của bộ tái tạo tín hiệu sử dụng sợi quang phi tuyến áp dụng cho tái tạo tín hiệu 40 Gbps, mã hóa RZ 25%, độ rộng xung nửa công suất là 6,25 ps

| L | α | β_2 | γ | Δf | ΔF |
|-----|----------|-------------------------|---------------------------------------|------------|------------|
| 3 m | 1 dB/m | 892 ps ² /km | 1500 W ⁻¹ km ⁻¹ | 70 GHz | 168 GHz |

Kết quả khảo sát nhận được đồ thị hàm truyền đạt công suất như trong hình 5a, với tín hiệu đầu vào có biểu đồ mật như trên hình 5b thì tín hiệu đầu ra có biểu đồ mật trên hình 5c.



Hình 5. Hàm truyền đạt công suất của bộ lặp sử dụng sợi quang đặc biệt (a) và biểu đồ mật tín hiệu đầu vào (b) và đầu ra (c)

Với kết quả thu được, chúng tôi có một số nhận xét sau:

Tín hiệu đầu ra của bộ tái tạo 2R có tần số trung tâm lệch so với tín hiệu đầu vào một lượng chính bằng độ dịch lệch tần số trung tâm Δf của bộ lọc (4b), nghĩa là các bộ tái tạo loại này còn có thể ứng dụng với chức năng chuyển đổi bước sóng. Tuy nhiên, trong các hệ thống truyền dẫn không cần chuyển đổi bước sóng, điều này có thể khắc phục bằng cách đặt nối tiếp các bộ tái tạo AO2R-SPM có dịch lệch tần số bù trừ cho nhau.

Độ rộng phổ tín hiệu sau tái tạo phụ thuộc độ rộng băng thông của bộ lọc (4b). Để có độ rộng nửa công suất T_{FWHM} của tín hiệu đầu ra giữ nguyên như của tín hiệu đầu vào thì độ rộng nửa công suất ΔF của bộ lọc thông dải cần chọn để $(\Delta F \times T_{FWHM}) = 0,441$.

Hiệu suất truyền đạt công suất của bộ tái tạo tín hiệu khá thấp, chỉ ở khoảng (5 – 10)%, do phổ tín hiệu bị dàn trải và suy hao của bộ lọc. Để có mức công suất tín hiệu cần thiết, cần sử dụng các bộ khuếch đại quang và chúng tôi cho rằng, nếu có các bộ khuếch đại quang băng hẹp mong muốn thì có thể không cần bộ lọc thông dải.

Vùng bằng phẳng dưới thấp của hàm truyền đạt công suất (4a, 5a), vùng tái tạo bit 0, có thể được mở rộng nếu tăng độ dịch lệch tần số của bộ lọc. Tuy nhiên, nếu tăng Δf thì chiều dài sợi quang phải tăng thêm, hiệu suất giảm và điểm làm việc tại vùng tái tạo bit 1 sẽ bị đẩy lên cao.

Với bộ tái tạo AO2R-SPM sử dụng sợi quang thông thường, điểm làm việc tái tạo bit 1 nằm ở vùng bằng phẳng phía trên (4a), ứng với công suất tín hiệu vào từ 0,35 W đến 0,55 W. Tuy nhiên, theo [4], điểm làm việc tối ưu lại không nằm ở chính giữa vùng bằng phẳng mà dịch một chút về phía bên phải, với công suất tín hiệu khoảng 0,55 W.

Vùng bằng phẳng để tái tạo bit 0 luôn có nếu có sự dịch lệch tần số của bộ lọc so với tần số trung tâm, nhưng để có đoạn bằng phẳng tái tạo bit 1 thì cần phải thử nghiệm, điều chỉnh nhằm đạt được phối hợp hợp lý giữa các tham số của sợi quang (chiều dài L , suy hao α , hệ số tán sắc β_2 , hệ số phi tuyến γ) và tham số của tín hiệu cần tái tạo (độ rộng xung T_{FWHM} , dạng xung).

Biểu đồ mắt ở hình 5b cho thấy, mức không đồng đều công suất đỉnh tín hiệu bit 1 giảm, các xung giả ở bit 0 đã bị xóa; độ mở mắt của tín hiệu đầu ra lớn hơn rất nhiều so tín hiệu đầu vào. Kết quả này chứng tỏ, bộ tái tạo tín hiệu AO2R-SPM sử dụng sợi quang phi tuyến đã thực hiện tốt nhiệm vụ tái tạo và sửa dạng xung cho tín hiệu 40 Gbps.

5. KẾT LUẬN

Ngoài ảnh hưởng xấu đến tín hiệu trên đường truyền, SPM có thể được sử dụng cho những mục tiêu có ích, một trong số đó là ứng dụng để tạo các bộ lặp 2R toàn quang, như đã giới thiệu. Việc sử dụng sợi quang phi tuyến cho phép thu gọn kích thước, giảm giá thành, tăng độ tin cậy đối với các bộ lặp loại này. Kết quả mô phỏng đã cho thấy bộ lặp 2R ứng dụng SPM hoạt động tốt cho tốc độ truyền tín hiệu 40 Gbps. Theo chúng tôi, để có các bộ lặp thật, cần thiết thực hiện tiếp các thiết kế, các công trình khảo nghiệm, thực nghiệm với các phần tử quang một cách cụ thể. Mặc dù vậy, có thể dự đoán, các bộ lặp toàn quang loại này sẽ sớm xuất hiện trên thị trường và mạng viễn thông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. J.-C. Simon, L. Bramerie, F. Ginovart, V. Ronçin, M. Gay, S. Fève, E. Le Cren, M.-L. Charès - All optical regeneration techniques, Ann. Télécommun **58** (2003) 11-12.
2. P. V. Mamyshev - All optical data regeneration based on self phase modulation effect, Proc. ECOC '98, 1998, pp. 475-476.
3. G. P. Agrawal - Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, 2nd ed, 1995.
4. T. N. Nguyen, M. Gay, L. Bramerie, T. Chartier, J.-C. Simon, M. Joindot - Noise reduction in 2R-regeneration technique utilizing self-phase modulation and filtering, Opt. Express, **14** (2006) 1737.
5. J. M. Harbold, F. Ö. Ilday, F. W. Wise, and B. G. Aitken - Highly Nonlinear Ge-As-Se and Ge-As-S-Se Glasses for All-Optical Switching, IEEE Photon. Technol. Lett. **14** (2002) 822-824.

6. F. Smektala, L. Brilland, T. Chartier, T. N. Nguyen, J. Troles, Y. F. Niu, S. Danto, N. Traynor, and T. Jouan - Recent advances in the development of holey optical fibers based on sulfide glasses, SPIE 6128, 2006.
7. E. Forestieri - Optical Communications: Theory and techniques, Springer Science, 1997.
8. S. Bigo - Improving spectral efficiency by ultra-narrow optical filtering to achieve multiterabit/s, in *OFC'01*, California, Mar. 2001, pp. 362-364.
9. R.W. Boyd - Nonlinear Optics, Academic Press, 1991.

SUMMARY

NONLINEAR FIBER-BASED REGENERATE

In this paper, a non-linear effect in Self Phase Modulation (SPM) is briefly introduced and a simulation model for all optic 2R SPM-based regenerator is then proposed using non-linear fiber. Different discussions on the obtained results of simulation model are also made.

Địa chỉ:

Nhận bài ngày 10 tháng 4 năm 2007

Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.