

NGHIÊN CỨU BỘ THU DPSK SỬ DỤNG GIAO THOA KẾ MICHELSON VỚI FARADAY QUAY GƯƠNG

Nguyễn Thế Quang^{1,*}, Nguyễn Hồng Kiêm¹, Kouhei Shimazaki², Naoto Kishi²

¹Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

²Đại học Điện-Thông tin Tokyo, Nhật Bản

TÓM TẮT

Tín hiệu điều chế khóa dịch pha vi sai DPSK (differential phase shift keying) có vai trò quan trọng trong hệ thống thông tin quang thế hệ tiếp theo. Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành khảo sát bộ thu DPSK sử dụng giao thoa kế Michelson MCI (Michelson interferometer). MCI cấu thành từ Faraday quay gương FRM (Faraday rotator mirrors) để giảm ảnh hưởng của phân cực. FRM hoạt động như một gương liên hợp pha để tạo ra một bộ trễ pha 90° . Bộ thu DPSK sử dụng MCI được so sánh với bộ thu DPSK thông thường Kyliya sử dụng bộ giao thoa Mach-Zehnder Kyliya-MZI (Mach-Zehnder interferometer) với các thông số tỉ lệ lỗi bit BER (bit error rate), sự biến động phân cực của tín hiệu và sự thay đổi của bước sóng tín hiệu. Các kết quả thí nghiệm cho thấy, bộ thu DPSK sử dụng MCI có ưu điểm hơn về độ nhạy thu, tín hiệu thu được ít bị ảnh hưởng của phân cực, cũng như ít phụ thuộc vào bước sóng của tín hiệu.

Từ khóa: Thông tin quang sợi; bộ thu DPSK; biến động phân cực; giao thoa kế Michelson; Faraday quay gương

ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, điện thoại thông minh, máy tính bảng là những thiết bị đầu cuối trở nên thông dụng, những nhu cầu về truyền tin dung lượng lớn như hội nghị trực tuyến,... tăng lên đáng kể. Hơn nữa những công nghệ trong tương lai gần như 5G, IoT,... cũng cần đến mạng thông tin dung lượng cao. Để đáp ứng nhu cầu này thì thông tin quang sợi là một giải pháp đang được sử dụng [1], [2]. Trong thập kỷ 1990, bộ khuếch đại toàn quang EDFA (Erbium doped fiber amplifiers) cũng như hệ thống ghép kênh phân chia theo bước sóng WDM (wavelength division multiplexing) được đưa vào sử dụng thì điều chế cường độ-tách sóng trực tiếp IM-DD (intensity modulation - direct detection) cho tín hiệu OOK (on-off keying) được sử dụng rộng rãi. Tuy nhiên, IM-DD sẽ bị hạn chế về tốc độ và số lượng kênh trong hệ thống WDM. Do vậy, những kỹ thuật điều chế quang tiên tiến như điều chế khóa dịch pha vi sai DPSK (differential phase shift keying) đang được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong hệ thống thông tin quang vì những ưu điểm vượt trội so với tín hiệu OOK về độ

nhạy thu. So với tín hiệu OOK thì tín hiệu DPSK sẽ ít bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng phi tuyến, tán sắc bước sóng, tán sắc mode phân cực hơn nên sẽ thích hợp với hệ thống đường trục trong tương lai [3]-[5].

Để tách sóng tín hiệu DPSK, một bộ thu DPSK được sử dụng để chuyển đổi từ tín hiệu pha sang tín hiệu biên độ. Cho đến nay, bộ thu DPSK tiến hành bằng phương thức tách ánh sáng thu được rồi cho chúng giao thoa với nhau. Tuy nhiên, phương pháp này không ổn định bởi phân cực của ánh sáng bị dao động do tính lưỡng chiết suất của sợi quang [6]. Khi ánh sáng truyền trong sợi quang, trạng thái phân cực của ánh sáng sẽ bị thay đổi. Hơn nữa, khi sợi quang bị tác động thì trạng thái phân cực cũng sẽ bị dao động theo thời gian. Để giữ được trạng thái phân cực của ánh sáng trong sợi quang thì phải dùng sợi quang duy trì trạng thái phân cực PMF (polarization maintaining fiber). Tuy nhiên sợi này có chi phí rất cao. Đồng thời những thiết bị sử dụng trong hệ thống bắt buộc cũng phải duy trì được trạng thái phân cực của ánh sáng. Do vậy bộ thu DPSK có cấu trúc sợi quang khó được triển khai. Faraday quay gương FRM (Faraday rotator mirrors) là một thiết bị hầu như không phụ thuộc vào biến

*Tel: 0968 506069, Email: quangnt@mta.edu.vn

động phân cực của tín hiệu nên được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. FRM hoạt động như một gương liên hợp pha bằng việc tạo ra một bộ chậm pha 90° .

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã khảo sát thực nghiệm bộ thu DPSK sử dụng giao thoa Michelson MCI (Michelson interferometer) với FRM. Bộ thu quang này sử dụng ưu điểm của FRM đó là hạn chế ảnh hưởng phân cực của tín hiệu quang. Một tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK được tiến hành thí nghiệm để so sánh bộ thu DPSK sử dụng MCI với bộ thu DPSK thông dụng Kyliya sử dụng bộ giao thoa Mach-Zehnder Kyliya-MZI (Mach-Zehnder interferometer) với tham số mẫu mắt, tỉ lệ lỗi bit BER (bit error rate). So với bộ thu Kyliya-MZI, tín hiệu DPSK của bộ thu sử dụng MCI tại $BER=10^{-9}$ được cải thiện 2,0 dB. Tại bộ thu DPSK sử dụng MCI, thiệt hại công suất tại $BER=10^{-9}$ chỉ nhỏ hơn 0,3 dB khi thay đổi tốc độ biến động phân cực. Hơn nữa, bộ thu DPSK sử dụng MCI không phụ thuộc nhiều vào bước sóng của tín hiệu trong băng C.

CƠ SỞ LÝ THUYẾT BỘ GIAO THOA KẾ MICHELSON

Nguyên lý hoạt động của MCI với FRM được mô tả trong Hình 1(a). Tín hiệu ánh sáng từ nguồn quang LD (laser diode) được chia ra làm 2 thành phần sau khi đi qua bộ tách/ghép. Hai thành phần này lần lượt đi đến FRM1, FRM2.

Hoạt động của FRM được mô tả trên Hình 1(b). FRM được tạo nên bởi phần tử gương, thấu kính và Faraday quay cách tử để quay phân cực 45° . Ánh sáng vào sau khi đi qua thấu kính, Faraday quay cách tử thì phân cực của nó sẽ bị quay đi một góc 45° . Sau đó, ánh sáng được phản xạ tại gương, rồi tiếp tục quay ngược lại và đi qua Faraday quay cách tử. Khi đó, phân cực của ánh sáng phản xạ tiếp tục bị quay một góc 45° như trên Hình 1(b). Như vậy, tại một điểm bất kì thì phân cực của ánh sáng vào và ánh sáng phản xạ trực giao với nhau. Do đó, trạng thái phân cực của tia phản xạ sẽ không phụ thuộc vào chiết suất của sợi quang.

Sau khi 2 thành phần ánh sáng lần lượt được phản xạ tại FRM1, FRM2, chúng được hợp lại tại bộ tách/ghép và giao thoa với nhau. Giả sử khoảng cách từ bộ tách/ghép đến FRM1, FRM2 lần lượt là L_1 , L_2 thì 2 thành phần tín hiệu ánh sáng $e_1(t)$, $e_2(t)$ sẽ được thể hiện theo công thức:

$$e_1(t) = A_1 \exp[i(\omega t + \phi_1)] \quad (1)$$

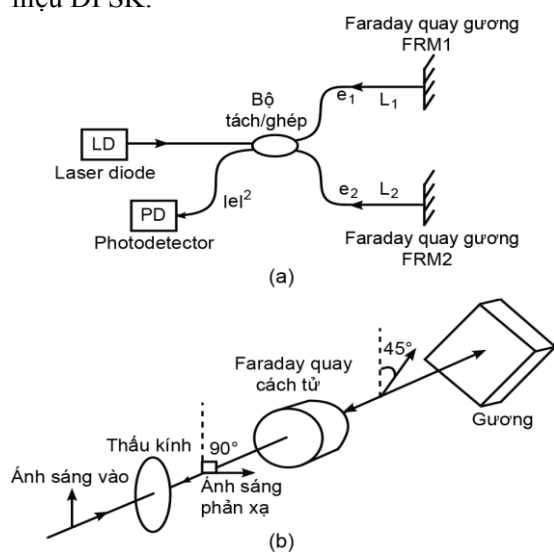
$$e_2(t) = A_2 \exp[i(\omega t + \phi_2)] \quad (2)$$

với A_1 , A_2 lần lượt là biên độ của 2 thành phần tín hiệu ánh sáng $e_1(t)$, $e_2(t)$. Tại bộ tách sóng quang PD (photodetector), biên độ của tín hiệu ánh sáng tỷ lệ với bình phương cường độ từ trường. Giả sử cường độ ánh sáng sau khi giao thoa là $|e(t)|^2$ thì ta có:

$$\begin{aligned} |e(t)|^2 &= |e_1(t) + e_2(t)|^2 \\ &= A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) \\ &= A + B \cos(\Delta\phi) \end{aligned} \quad (3)$$

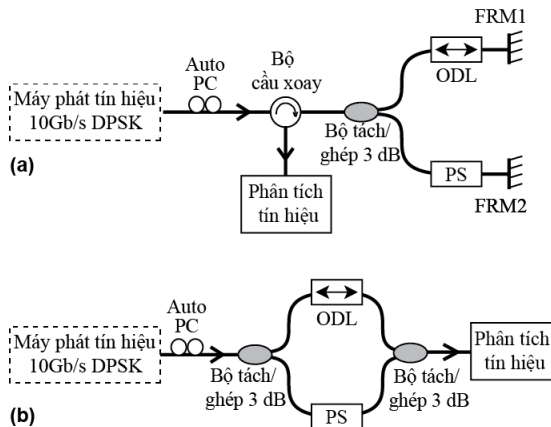
$$(A = A_1^2 + A_2^2, B = 2A_1A_2, \Delta\phi = \phi_1 - \phi_2)$$

Theo công thức (3) thì cường độ ánh sáng sau khi giao thoa $|e(t)|^2$ sẽ biến đổi theo hiệu số pha của 2 phần tín hiệu ánh sáng $\Delta\phi$. Trong trường hợp 2 tín hiệu ánh sáng có cùng bước sóng thì bộ giao thoa này được gọi là bộ tách sóng homodyne, được ứng dụng để thu tín hiệu DPSK.



Hình 1. Nguyên lý hoạt động của (a) bộ giao thoa kế Michelson MCI và (b) Faraday quay gương FRM

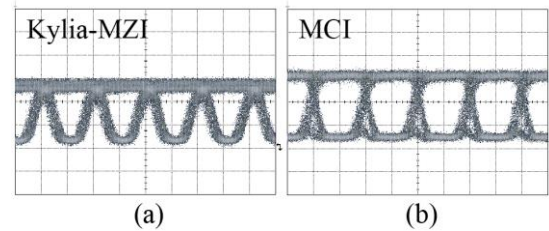
CẤU HÌNH THÍ NGHIỆM



Hình 2. Cấu hình thí nghiệm của bộ thu DPSK (a) sử dụng MCI và (b) sử dụng MZI. Auto PC (polarization controller): Bộ điều chỉnh phân cực tự động, ODL (optical delay line): Bộ trễ quang, PS (phase shift): Bộ dịch pha, FRM (Faraday rotator mirror): Faraday quay gương.

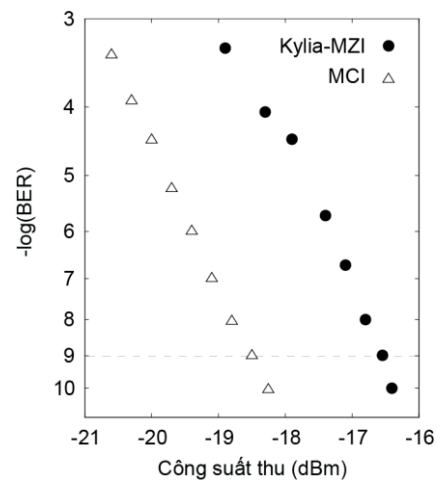
Cấu hình thí nghiệm của bộ thu DPSK sử dụng MCI được thể hiện trên Hình 2(a). Một tín hiệu quang 10 Gb/s NRZ-DPSK được tạo ra bằng một nguồn laser diode tại bước sóng 1551,3 nm đưa vào bộ điều chế DPSK. Sau khi đi qua bộ điều chỉnh phân cực tự động Auto PC (polarization controller) và bộ cầu xoay, tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK này được cho qua bộ tách/ghép 3 dB để chia ra thành 2 nhánh. Hai tín hiệu này được phản xạ tại FRM1, FRM2 và sau đó giao thoa với nhau tại bộ tách/ghép 3 dB. Một nhánh sẽ được đặt bộ trễ quang ODL (optical delay line) để điều chỉnh trễ 1 bit. Khi giao thoa, thông tin pha sẽ được biến đổi thành thông tin biên độ. Một nhánh còn lại sẽ đặt thêm bộ dịch pha PS (phase shift) để đồng bộ pha của FRM bằng cách điều chỉnh điện áp của bộ PS. Tín hiệu giao thoa được lấy ra từ bộ cầu xoay và được đưa vào phân tích bằng các máy đo mẫu mắt, BER. Hình 2(b) mô tả cấu hình thí nghiệm của bộ thu DPSK sử dụng MZI. Tương tự như bộ thu DPSK sử dụng MCI, sau khi đi qua bộ Auto PC, tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK được cho qua bộ tách/ghép 3 dB để chia ra thành 2 nhánh. Một nhánh sẽ được đặt bộ ODL để điều chỉnh trễ 1 bit, nhánh còn lại sẽ đặt thêm bộ PS. Hai tín hiệu sau đó giao thoa với nhau tại bộ tách/ghép 3 dB và được đưa vào các máy đo mẫu mắt, BER.

KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN



Hình 3. Mẫu mắt của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK với (a) bộ thu Kyliia-MZI và (b) bộ thu sử dụng MCI (50 ps/div.)

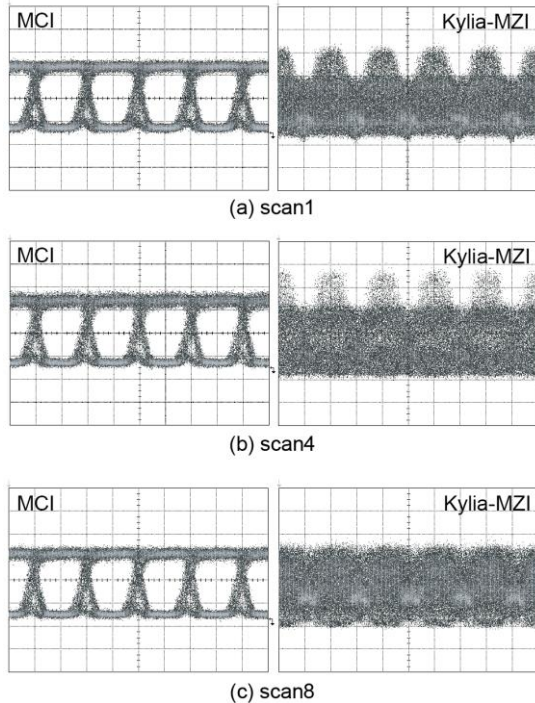
Hình 3(a), (b) lần lượt thể hiện mẫu mắt của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK khi sử dụng bộ thu Kyliia-MZI và bộ thu sử dụng MCI. Kết quả cho thấy, mẫu mắt của tín hiệu DPSK khi sử dụng MCI mờ to, rõ nét hơn bộ thu Kyliia-MZI. Nguyên nhân là do độ rộng xung của bit “1” và “0” của chuỗi bit ngẫu nhiên không đồng đều, do đó điểm giao của chúng sẽ bị lệch đi. Hơn nữa, trong bộ thu Kyliia-MZI, bộ trễ 1 bit hoạt động không chính xác nên cũng dẫn đến độ sai lệch độ rộng xung giữa bit “1” và “0”.



Hình 4. Đặc tính BER của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK với bộ thu DPSK sử dụng MCI và bộ thu Kyliia-MZI

Hình 4 là kết quả đo BER của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK khi sử dụng bộ thu Kyliia-MZI, và bộ thu sử dụng MCI. So với bộ thu Kyliia-MZI, tín hiệu DPSK của bộ thu sử dụng MCI tại $BER=10^{-9}$ được cải thiện 2,0 dB. Có được kết quả này là do bộ trễ 1 bit trong bộ thu sử dụng MCI được thiết lập chính xác hơn. Như vậy bộ thu DPSK sử

dùng MCI có ưu điểm hơn về độ nhạy thu so với bộ thu Kyliia-MZI.

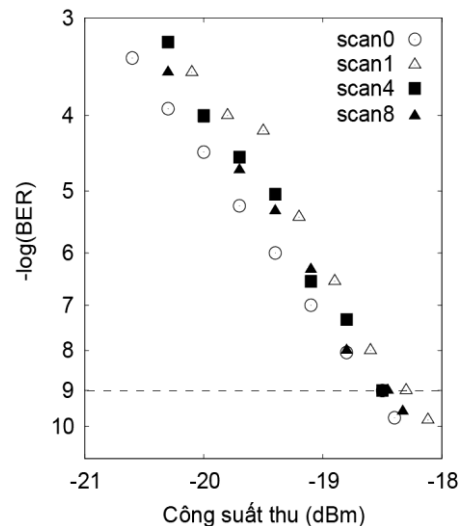


Hình 5. Mẫu mắt của tín hiệu 10Gb/s NRZ-DPSK với bộ thu DPSK sử dụng MCI và bộ thu Kyliia-MZI với tốc độ biến động phân cực (a) scan1, (b) scan 4, (c) scan8 (50 ps/div.)

Để khảo sát bộ thu DPSK sử dụng MCI khi có sự biến động phân cực của tín hiệu, Auto PC được đặt trước MCI để tiến hành đo mẫu mắt, BER. Ở đây, Auto PC có tốc độ biến động là 8 mức với mức càng cao thì tốc độ biến động phân cực càng nhanh. Hình 5(a), (b), (c) lần lượt so sánh mẫu mắt của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK đối với máy thu Kyliia-MZI và máy thu sử dụng MCI trong trường hợp tốc độ biến động phân cực là scan1 (mức 1), scan4 (mức 4), scan8 (mức 8). Kết quả cho thấy bộ thu DPSK sử dụng MCI đều cho mẫu mắt rõ nét trong tất cả tốc độ biến động phân cực. Ngược lại không thể quan sát được mẫu mắt của tín hiệu DPSK với bộ thu Kyliia-MZI trong mọi tốc độ biến động phân cực. Có thể nói rằng bộ thu DPSK sử dụng MCI không phụ thuộc vào tốc độ biến động phân cực.

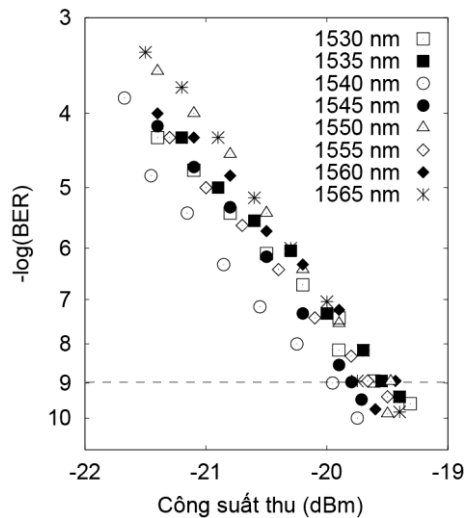
Nghiên cứu này cũng tiến hành khảo sát đặc tính BER của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK đối với cả máy thu Kyliia-MZI và máy thu sử

dùng MCI trong trường hợp xét đến tốc độ biến động phân cực. Tuy nhiên, máy thu Kyliia-MZI không đo được BER đối với mọi tốc độ biến động phân cực. Hình 6 mô tả đặc tính BER của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK với bộ thu DPSK sử dụng MCI trong các trường hợp tốc độ biến động phân cực là scan0 (không có sự biến động của phân cực tín hiệu), scan1, scan4, scan8. Kết quả cho thấy thiệt hại công suất tại $BER=10^{-9}$ trong tất cả các trường hợp khi thay đổi tốc độ biến động phân cực so với không có sự biến động phân cực (scan0) đều nhỏ hơn 0,3 dB. Từ kết quả trên ta có thể kết luận là bộ thu DPSK sử dụng MCI phụ thuộc rất ít vào phân cực của tín hiệu.

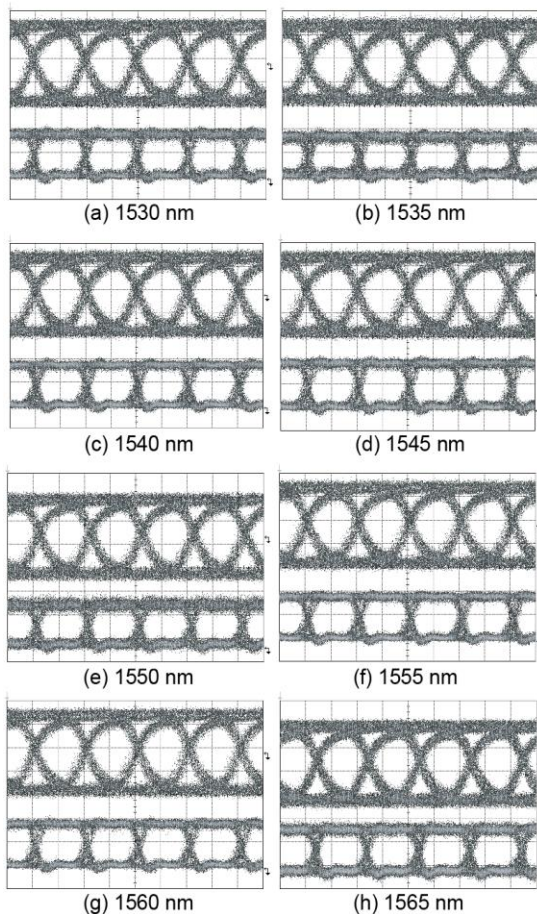


Hình 6. Đặc tính BER của tín hiệu 10Gb/s NRZ-DPSK với bộ thu DPSK sử dụng MCI khi thay đổi tốc độ biến động phân cực

Để khảo sát đặc tính bước sóng của bộ thu DPSK sử dụng MCI, chúng tôi đã thay đổi bước sóng của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK trong dải bước sóng băng C (1530 nm ~ 1565 nm) rồi sau đó xét đặc tính BER, mẫu mắt của tín hiệu. Hình 7 mô tả đặc tính BER của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK với trường hợp bước sóng của tín hiệu $\lambda = 1530, 1535, 1540, 1545, 1550, 1555, 1560, 1565$ nm (dải bước sóng băng C với khoảng cách bước sóng là 5 nm). Ta thấy khi bước sóng của tín hiệu thay đổi trong băng C, thiệt hại công suất của tín hiệu tại $BER=10^{-9}$ chỉ thay đổi trong khoảng 0,5 dB.



Hình 7. Đặc tính BER của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK với bộ thu DPSK sử dụng MCI khi thay đổi bước sóng của tín hiệu



Hình 8. Mẫu mắt của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK với bộ thu DPSK sử dụng MCI trong trường hợp bước sóng của tín hiệu (a) 1530 nm, (b) 1535 nm, (c) 1540 nm, (d) 1545 nm, (e) 1550 nm, (f) 1555 nm, (g) 1560 nm, (h) 1565 nm (50 ps/div.)

Mẫu mắt của tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK ứng với các bước sóng trên được mô tả lần lượt trong Hình 8(a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h). Hình phía trên trong mỗi mẫu mắt hiển thị tín hiệu điện, trong khi đó hình phía dưới hiển thị tín hiệu quang. Các mẫu mắt của tín hiệu đều mở to, rõ nét, không có sự khác biệt lớn. Để có được kết quả này là do sai số góc phản xạ của FRM nhỏ cỡ $\pm 1^\circ$. Có thể nói rằng bộ thu DPSK sử dụng MCI với FRM phụ thuộc không đáng kể vào bước sóng của tín hiệu trong băng C.

KẾT LUẬN

Bộ thu DPSK sử dụng MCI với FRM được tiến hành khảo sát thực nghiệm. Bộ giao thoa MCI này tận dụng ưu điểm của FRM đó là hoạt động như một gương liên hợp pha để giảm ảnh hưởng của phân cực. Bộ thu DPSK này được so sánh với bộ thu Kyla-MZI đối với tín hiệu 10 Gb/s NRZ-DPSK. Kết quả thí nghiệm thu được cho thấy bộ thu DPSK sử dụng MCI có những ưu điểm vượt trội về độ nhạy thu, sự ổn định đối với biến đổi phân cực của tín hiệu. Hơn nữa, bộ thu DPSK sử dụng MCI không phụ thuộc nhiều vào tần số của tín hiệu tại băng C. Những kết quả của nghiên cứu này là tiền đề để khảo sát của bộ thu DPSK sử dụng MCI với FRM dưới ảnh hưởng của tham số tán sắc mode phân cực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. R. Ramaswami, and K. N. Sivarajan (1998), *Optical networks: a practical perspective*, Morgan Kaufmann Publishers Inc.
2. H. Kogelnik (2000), "High-capacity optical communications: Personal recollections," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 6, no. 6, pp. 1279–1286.
3. W. A. Atia, and R. S. Bondurant (1999), "Demonstration of return-to-zero signaling in both OOK and DPSK formats to improve receiver sensitivity in an optically preamplified receiver," in *IEEE Lasers and Electro-Optics Society 12th Annual Meeting*, paper TuM3, vol. 1.
4. C. Xu, X. Liu, and X. Wei (2004), "Differential phase-shift keying for high spectral efficiency optical transmissions," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 20, no. 2, pp. 281–293.

5. A. H. Gnauck, P. J. Winzer (2005), "Optical phase-shift-keyed transmission," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol. 23, no. 1, pp. 115–130.

6. A. D. Kersey, M. J. Marrone, and M. A. Davis (1991), "Polarization-Insensitive Fiberoptic Michelson Interferometer" *IEEE Electronics Letters*, vol. 27, no. 6, pp. 518–519.

SUMMARY

INVESTIGATION OF DPSK RECEIVER SYSTEM BY USING MICHELSON INTERFEROMETER WITH FARADAY ROTATING MIRROR

Quang Nguyen-The^{1,*}, Nguyen Hong Kiem¹, Kouhei Shimazaki², Naoto Kishi²

¹Le Quy Don Technical University; * Email: quangnt@mta.edu.vn

²The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan

DPSK (differential phase shift keying) have become an important modulation format because of suitability for next-generation optical fiber communication systems. In this paper, we report the demonstration of a DPSK receiver based on Michelson interferometer (MCI). The MCI configured with Faraday rotator mirror to confirm the reduction in polarization sensitivity. The Faraday rotator mirror serves as a phase conjugate mirror by creating a phase delay of 90 degrees. The performances of the DPSK receiver using MCI and a conventional DPSK receiver Kyria using Mach-Zehnder interferometer (MZI) are compared in terms of signal of bit error rate (BER), polarization fluctuation. According to the experimental results, the DPSK receiver using MCI achieved low distortion, polarization-insensitive as well as wavelength-shift-free operation.

Keywords: Optical fiber communication; DPSK receiver system; polarization fluctuation; Michelson interferometer; Faraday rotator mirror

Ngày nhận bài: 27/3/2018; **Ngày phản biện:** 04/4/2018; **Ngày duyệt đăng:** 31/5/2018

* Tel: 0968.506069, Email: quangnt@mta.edu.vn