

# PHƯƠNG PHÁP TÍNH CÔNG SUẤT BÙ BER THIẾT KẾ CÁC HỆ THỐNG TRUYỀN TÍN HIỆU M-QAM QUA TUYẾN THÔNG TIN CẤP SỢI QUANG

Lê Trung Thành

*Khoa Điện- Điện tử, Trường Đại học Giao thông-Vận tải Hà Nội*

Tóm tắt: Trong bài báo này chúng tôi đưa ra một khái niệm mới về công suất bù BER ( $\Delta P_{BER}$ ) cho việc thiết kế các hệ thống truyền tín hiệu M-QAM qua tuyến thông tin quang trong cả hai trường hợp hệ thống sử dụng tách sóng PIN hoặc APD. Các kết quả được tính toán, so sánh và mô phỏng với các hệ thống có số mức điều chế khác nhau. Bài báo đã chỉ ra rằng khi số mức điều chế M tăng thì hiệu suất sử dụng băng thông tăng nhưng  $\Delta P_{BER}$  lại tăng theo và hệ thống dùng tách sóng PIN thì có lợi về mặt quỹ công suất hơn là dùng tách sóng APD.

## 1. Đặt vấn đề

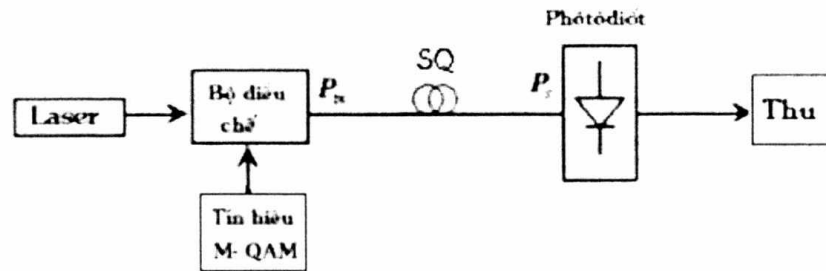
Việc thiết kế các hệ thống thông tin quang đặc biệt là hệ thống thông tin quang SDH thì phải dựa vào các chuẩn được khuyến nghị bởi ITU-T [2]. Tuy nhiên, tham số BER- tham số thể hiện chất lượng của hệ thống thì chưa được quy chuẩn và các nhà thiết kế có thể chọn  $BER = 10^{-10}$  hoặc  $BER = 10^{-12}$ . Do vậy nó ảnh hưởng không nhỏ đến quá trình thiết kế tuyến thông tin quang [1].

Trong các công trình [1] và [2] đã đưa ra khái niệm và phương pháp tính toán công suất bù BER ( $\Delta P_{BER}$ ). Với phương pháp đó ta có thể tính toán thiết kế hệ thống truyền dẫn cáp sợi quang bảo đảm mọi giá trị BER theo yêu cầu. Các kết quả này đã được tích hợp vào phần mềm thiết kế hệ thống thông tin quang BK Optic 3.0 của trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Tuy nhiên, các kết quả đó mới chỉ dừng lại ở việc tính toán cho các hệ thống thông tin quang điều biến cường độ, tách sóng trực tiếp (IM-DD); dạng tín hiệu được sử dụng là RZ hoặc NRZ. Do vậy trong các hệ thống thông tin quang truyền tín hiệu M-QAM thì kết quả đó không còn được áp dụng.

Bài báo đưa ra phương pháp tính công suất bù BER truyền tín hiệu M-QAM qua hệ thống thông tin quang, với kết quả đạt được cho phép các nhà thiết kế hệ thống nâng cấp đến mọi giá trị BER theo yêu cầu.

## 2. Tính tỷ số công suất sóng mang trên tạp âm (CNR) sau tách sóng quang

Hệ thống thông tin quang truyền tín hiệu M-QAM được chỉ ra như hình 1[5]:



Hình 1. Hệ thống truyền tín hiệu M-QAM qua sợi quang

trong đó nguồn Laser dùng loại Laser Điốt (LD), bộ tách sóng quang là PIN hoặc APD.

Để tính công suất bù BER, trước hết ta phải tính CNR sau tách sóng quang, CNR sau tách sóng quang được xác định theo công thức [3-5]:

$$\text{CNR} = \frac{m^2 I_s^2}{2\sigma_{\text{tot}}^2} \quad (1)$$

trong đó:  $m$  là chỉ số điều chế quang,  $I_s = \mathfrak{R}P_s$  là dòng photô sau tách sóng quang;  $\mathfrak{R}, P_s$  tương ứng là đáp ứng và công suất quang tại đầu vào bộ tách sóng quang;  $\sigma_{\text{tot}}^2$  là tổng công suất tạp âm sau tách sóng quang, được tính cho hai trường hợp dùng APD và PIN như sau:

$$\sigma_{\text{total}}^2 = 2e(I_s + I_d)M_{\text{apd}}^2 F B_e + 2eB_e I_L + 4kTB_e/R, \text{ cho hệ thống dùng APD} \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{total}}^2 = 2eB_e (I_s + I_d) + 2eB_e I_L + 4kTB_e/R, \text{ cho hệ thống dùng PIN} \quad (3)$$

trong đó:  $k, h, T, B_e$  tương ứng là hằng số Boltzman, hằng số Planck, nhiệt độ tuyệt đối và băng tần điện của bộ thu;  $M_{\text{apd}}, F$  ( $F = M^x$ ,  $x$  phụ thuộc vào vật liệu chế tạo APD:  $x=0,4$  với Si,  $x=0,6$  với InGaAs và  $x=1$  với Ge) là hệ số nhân thác và hệ số nhiễu trội của APD;  $I_d, I_L, R, e$  lần lượt là dòng tối, dòng rò bề mặt, điện trở tải sau tách sóng và điện tích electron.

Do vậy, CNR sau tách sóng quang khi hệ thống sử dụng APD là:

$$\text{CNR} = \frac{0,5m^2(\mathfrak{R}P_s)^2 M^2}{2eB_e(\mathfrak{R}P_s + I_d)M^2 F + 2eB_e I_L + 4\frac{kTB_e}{R}} \quad (4)$$

và khi hệ thống dùng tách sóng PIN là:

$$\text{CNR} = \frac{0,5m^2(\mathfrak{R}P_s)^2}{2eB_e(\mathfrak{R}P_s + I_d) + 2eB_e I_L + 4\frac{kTB_e}{R}} \quad (5)$$

### 3. Tính công suất bù BER ( $\Delta P_{\text{BER}}$ )

#### 3.1. Tính với mọi nguồn tạp âm

Công suất bù  $\Delta P_{\text{BER}}$  là giá trị công suất cần phải thêm vào quỹ công suất để nâng tỷ lệ lỗi bit BER từ một giá trị ban đầu nào đó đến giá trị mới nhằm đảm bảo cho hệ thống có độ tin cậy cao hơn, ví dụ từ  $\text{BER}_0 = 10^{-6}$  đến  $\text{BER}_1 = 10^{-8}$  hoặc  $\text{BER}_1 = 10^{-10}$  [1]:

$$\Delta P_{BER} = 10 \lg \left\{ \frac{P_{txNew}}{P_{tx}} \right\} \quad [dB] \quad (6)$$

trong đó  $P_{tx}$  và  $P_{txNew}$  là công suất phát ứng với giá trị ban đầu của BER,  $BER = BER_0$  và giá trị mới của BER,  $BER = BER_1$ .

Ta nhận xét rằng phương trình (4) và (5) đều có dạng:

$$CNR = \frac{AP_s^2}{BP_s + C}, \quad (7)$$

trong đó các hệ số A, B, C được tính như sau:

Hệ thống sử dụng tách sóng PIN:

$$\begin{aligned} A &= 0,5m^2\mathfrak{R}^2 \\ B &= 2eB_e\mathfrak{R} \\ C &= 2eB_eI_d + 2eB_eI_L + 4kTB_e/R \end{aligned}$$

Hệ thống sử dụng tách sóng APD:

$$\begin{aligned} A &= 0,5m^2\mathfrak{R}^2M_{apd}^2 \\ B &= 2eB_e\mathfrak{R}M_{apd}^2F \\ C &= 2eB_eI_dM_{apd}^2F + 2eB_eI_L + 4kTB_e/R \end{aligned}$$

Ta sẽ sử dụng công thức chung về CNR (7) để tính  $\Delta P_{BER}$ , sau đó suy ra cho từng trường hợp hệ thống dùng tách sóng PIN hoặc APD.

Từ phương trình (7) ta có:

$$A.P_s^2 - CNR(BP_s) - CNR.C = 0 \quad (8)$$

Giải phương trình (8) ta tính được công suất quang đến bộ tách sóng  $P_s$  là :

$$P_s = \frac{CNR.B + \sqrt{(CNR.B)^2 + 4AC.CNR}}{2A} \quad (9)$$

Do vậy công suất bù BER được tính như sau:

$$\Delta P_{BER} = 10 \lg \left\{ \frac{P_{txNew}}{P_{tx}} \right\} = 10 \lg \left\{ \frac{CNR_{New}B + \sqrt{(CNR_{New}B)^2 + (4AC)CNR_{New}}}{CNR.B + \sqrt{(CNR.B)^2 + (4AC)CNR}} \right\} \quad (10)$$

Phương trình (10) là công thức tính công suất bù BER cho hệ thống thông tin quang sử dụng tách sóng PIN hoặc APD. Ta có nhận xét rằng giá trị của công suất bù BER phụ thuộc vào nhiều tham số của hệ thống như: số mức điều chế, tỷ lệ lỗi bit BER, tốc độ bit truyền dẫn, hệ số nhân của APD,...

### 3.2. Tính gần đúng $\Delta P_{BER}$

Khi hệ thống sử dụng tách sóng PIN thì tạp âm nhiệt là nguồn tạp âm trội và khi sử dụng tách sóng APD thì tạp âm thác lũ lại là nguồn tạp âm trội [2], do vậy từ (4), (5) và (10) ta có thể tính gần đúng công suất bù BER như sau:

Khi sử dụng tách sóng PIN

$$CNR = \frac{0,5m^2(\mathfrak{R}P_s)^2}{4kTB_e/R} \Rightarrow \Delta P_{BER} = 5 \lg \left\{ \frac{CNR_{New}}{CNR} \right\} \quad (11)$$

Khi sử dụng tách sóng APD

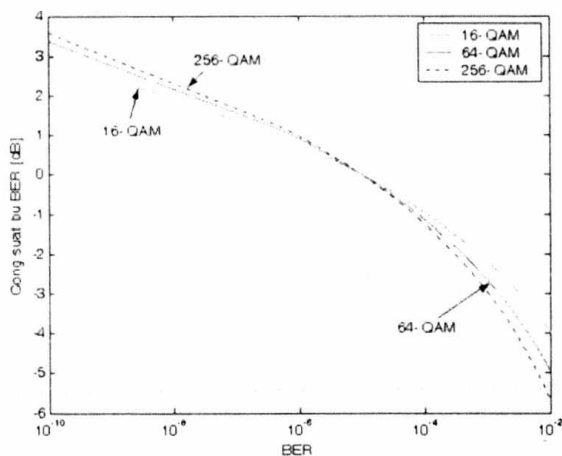
$$CNR = \frac{0,5m^2M_{apd}^2(\mathfrak{R}P_s)^2}{2eB_e(\mathfrak{R}P_s)(M_{apd}^2F)} \Rightarrow \Delta P_{BER} = 10 \lg \left\{ \frac{CNR_{New}}{CNR} \right\} \quad (12)$$

## 4. Mô phỏng kết quả

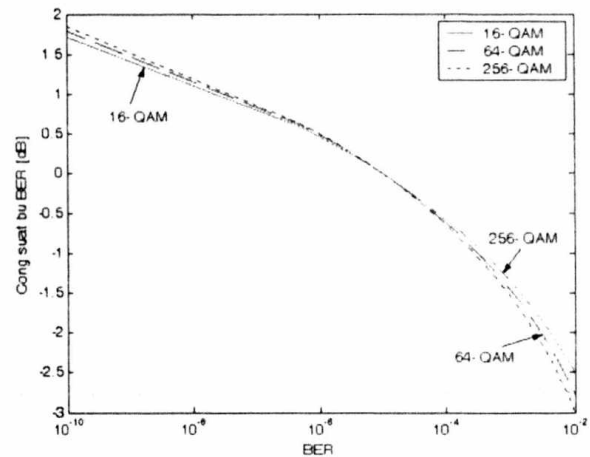
Trong phần này chúng tôi mô phỏng kết quả đạt được từ việc phân tích lý thuyết ở trên cho các hệ thống sử dụng tách sóng PIN hoặc APD và có số mức điều chế M khác nhau (M= 16, 32, 64 hoặc 256). Các tham số được giữ trong suốt quá trình mô phỏng này là:

$$m = 0,2; T = 300^0 K, R = 50\Omega, \mathfrak{R} = 0,8A/W$$

Hình 2 và 3 thể hiện mối quan hệ giữa công suất bù BER và BER của các hệ thống 16-QAM, 64-QAM và 256-QAM (giá trị BER ban đầu là  $BER_0 = 10^{-5}$ )



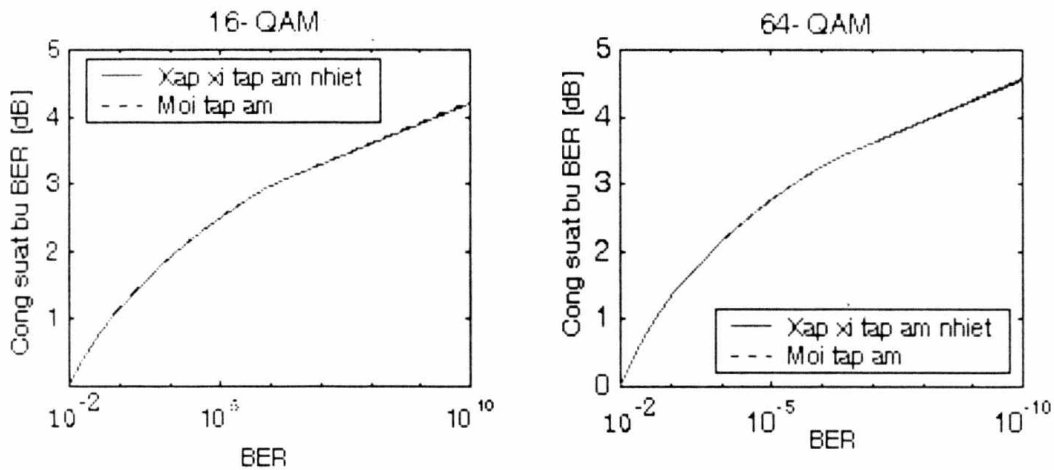
Hình 2. Mối quan hệ giữa công suất bù BER và BER cho APD



Hình 3. Mối quan hệ giữa công suất bù BER và BER cho PIN

Ta có nhận xét rằng khi số mức điều chế M tăng thì hiệu suất sử dụng băng thông tăng tỷ lệ với  $\log_2 M$  [6], nhưng bù lại giá trị của công suất bù BER lại tăng theo M, tức là quỹ công suất của tuyến tăng lên khi M tăng. Ví dụ để tăng chất lượng truyền dẫn thống từ  $BER = 10^{-5}$  đến giá trị mới  $BER = 10^{-8}$  với hệ thống 16-QAM yêu cầu công suất bù xấp xỉ 2 dB, 64-QAM yêu cầu 2,5dB và 256-QAM yêu cầu xấp xỉ 3dB khi sử dụng tách sóng APD; còn khi hệ thống dùng tách sóng PIN thì yêu cầu 1dB cho tuyến 16-QAM, xấp xỉ 1,2 dB cho tuyến 64-QAM và 1,5 dB cho tuyến 256-QAM.

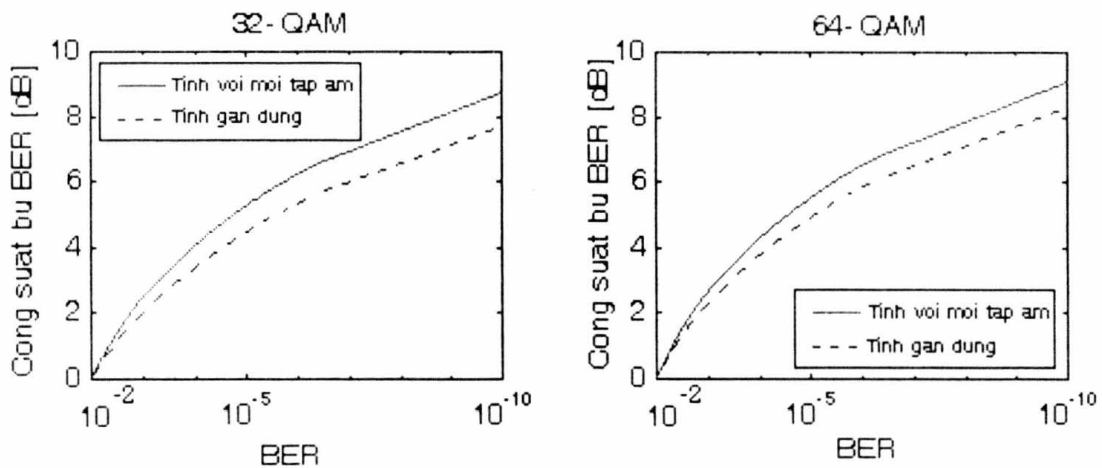
Giá trị của công suất bù BER trong trường hợp tính gần đúng với tạp âm nhiệt là nguồn tạp âm trội (khi hệ thống sử dụng PIN) và khi tính đến ảnh hưởng của mọi nguồn tạp âm tác động lên hệ thống được mô phỏng trên hình 4 (trong trường hợp  $M = 16$  và  $M = 64$ ).



Hình 4. So sánh khi tính gần đúng với tạp âm nhiệt và tính đến ảnh hưởng của mọi nguồn tạp âm (PIN)

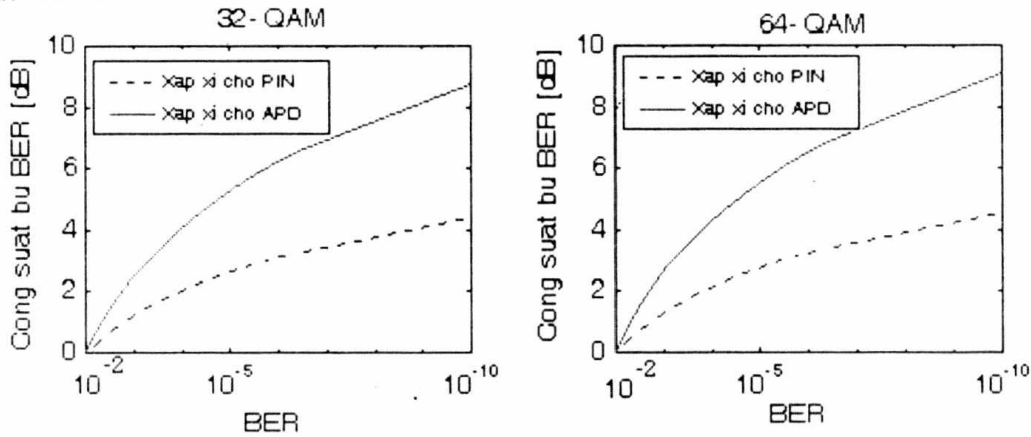
Kết quả mô phỏng cho thấy hai đường cong biểu diễn quan hệ giữa  $\Delta P_{BER}$  và BER gần như trùng nhau hoàn toàn. Điều này có nghĩa là trong thực tế thiết kế tuyến thông tin quang truyền tín hiệu M-QAM và hệ thống sử dụng tách sóng PIN thì chỉ cần tính đến ảnh hưởng của tạp âm nhiệt mà không làm ảnh hưởng nhiều đến quỹ công suất của hệ thống.

Tuy nhiên, khi hệ thống dùng tách sóng là APD thì kết quả mô phỏng cho thấy (hình 5) giá trị của công suất bù BER nếu tính toán gần đúng với tạp âm thác lũ là nguồn tạp âm trội sẽ nhỏ hơn giá trị của công suất bù BER khi tính đến ảnh hưởng của mọi nguồn tạp âm tác động lên hệ thống (tức là tính toán gần giá trị thực tế hơn). Theo như tính toán thì độ chênh lệch này khoảng 2 dB. Do đó trong thiết kế tuyến thông tin quang, nếu ta tính xấp xỉ tạp âm thác lũ là nguồn tạp âm trội thì phải thêm vào quỹ công suất khoảng 2dB để đảm bảo BER yêu cầu.

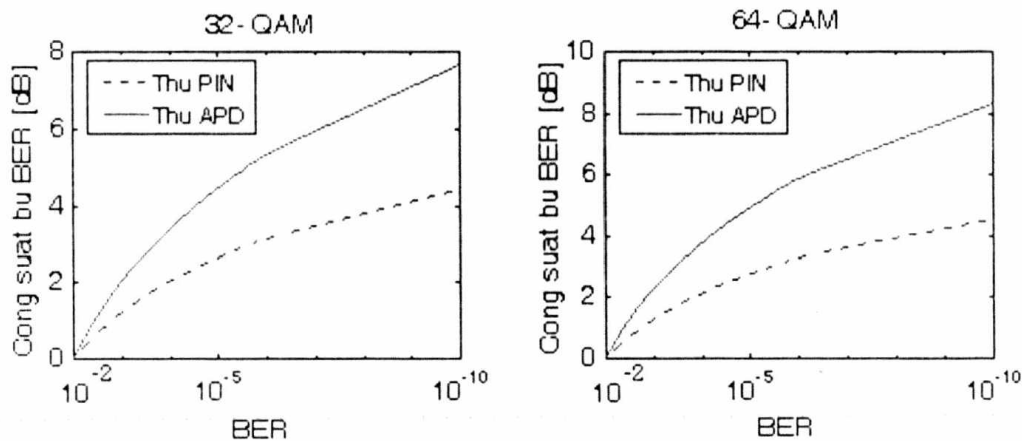


Hình 5. So sánh khi tính gần đúng với tạp âm thác lũ và tính đến ảnh hưởng của mọi nguồn tạp âm (APD)

Hình 6 so sánh giá trị của công suất bù BER được tính xấp xỉ cho hai hệ thống sử dụng tách sóng PIN hoặc APD; hình 7 là so sánh cho trường hợp khi tính đến tác động của mọi nguồn tạp âm lên hệ thống. Từ đồ thị ta có nhận xét rằng giá trị của công suất bù BER khi hệ thống dùng tách sóng APD luôn luôn lớn hơn khi hệ thống dùng tách sóng PIN. Mặc dù khi dùng APD thì dòng photô sau tách sóng lớn hơn so với PIN bởi nó được nhân lên một hệ số nhân thác ( $M_{\text{apd}}$ ) của APD. Tuy nhiên, bù lại tạp âm tạo ra sau tách sóng APD lại được tăng lên theo  $M_{\text{apd}}$ , làm cho giá trị công suất bù BER của nó lớn hơn so với PIN. Do vậy thực tế trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao bộ tách sóng PIN thường được sử dụng rộng rãi hơn APD.



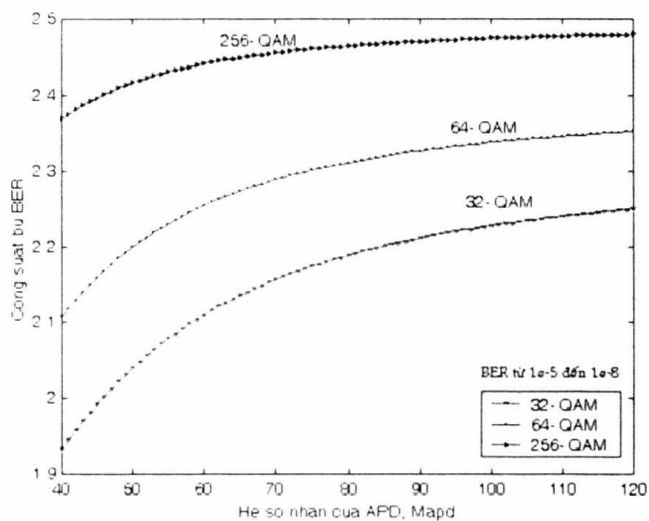
Hình 6. So sánh thu PIN và APD khi tính gần đúng



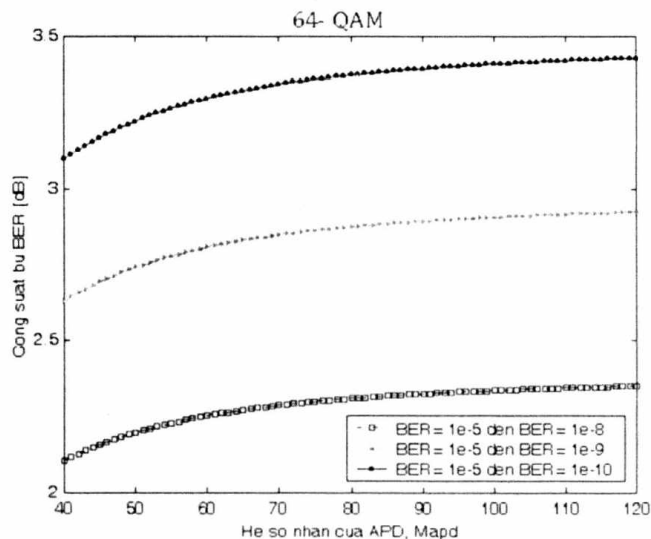
Hình 7. So sánh thu PIN và APD khi tính đến mọi nguồn tạp âm

Mối quan hệ giữa công suất bù BER và hệ số nhân thác  $M_{\text{apd}}$  của APD cho các hệ thống có số mức điều chế khác nhau được thể hiện trên hình 8. Từ kết quả mô phỏng ta có nhận xét rằng khi hệ số nhân của APD tăng thì  $\Delta P_{\text{BER}}$  tăng theo tương ứng. Tuy nhiên khi  $M_{\text{apd}}$  tăng đến một giá trị đủ lớn thì giá trị công suất bù BER  $\Delta P_{\text{BER}}$  hầu như không tăng nữa và đạt đến bão hòa. Từ kết quả thu được, trong thiết kế tuyến thông tin quang nhà thiết kế có thể chọn được một photôdiốt APD có giá trị  $M_{\text{apd}}$  tối ưu đủ lớn (cho dòng photô sau tách sóng lớn) để giá trị công suất bù là nhỏ (để giảm nhỏ quỹ công suất của tuyến), ở đây ta có thể chọn giá trị tối ưu của hệ số nhân APD là  $M_{\text{apd}}^{\text{opt}} \approx 90$ .

Hình 9 mô phỏng sự phụ thuộc của công suất bù vào hệ số nhân của APD cho hệ thống 64-QAM với các giá trị BER khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy khi yêu cầu chất lượng truyền dẫn càng cao (BER càng nhỏ) thì công suất bù BER có giá trị càng lớn. Đồng thời ta cũng có nhận xét tương tự như trên là giá trị của công suất bù BER tăng theo  $M_{apd}$ . Ví dụ như ta yêu cầu tăng chất lượng truyền dẫn từ BER =  $10^{-5}$  lên BER =  $10^{-8}$ , thì khi  $M_{apd} = 40$  cần công suất bù xấp xỉ 2dB nhưng khi  $M_{apd} = 70$  cần công suất bù có giá trị lớn hơn, xấp xỉ 2,4dB

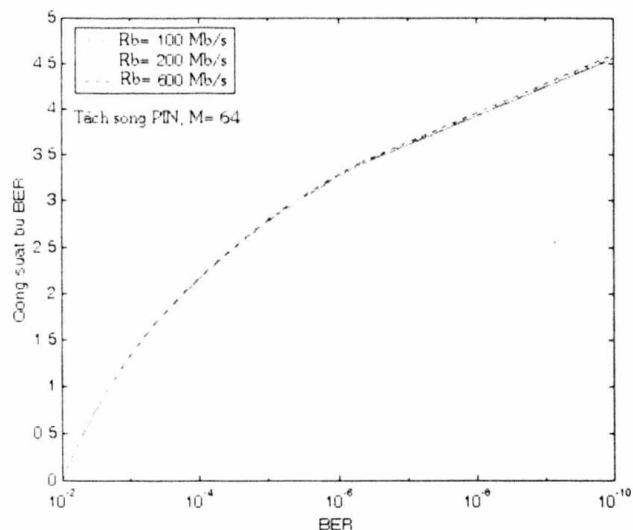


Hình 8. Quan hệ giữa công suất bù và hệ số nhân APD (BER từ  $10^{-5}$  đến  $10^{-8}$ )

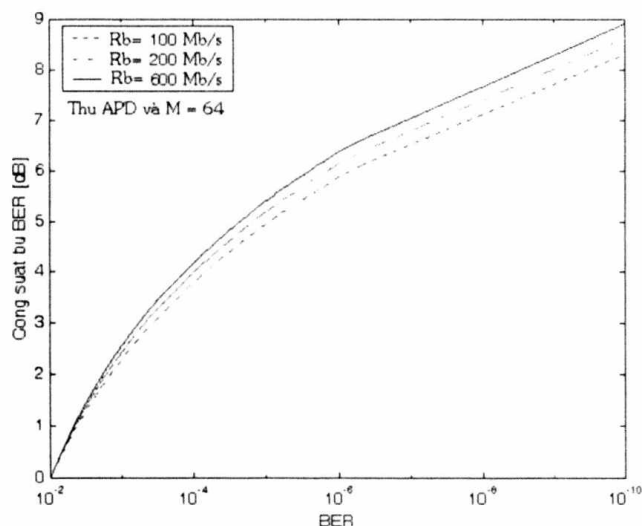


Hình 9. Quan hệ giữa công suất bù và hệ số nhân APD (hệ thống 64-QAM)

Tuy nhiên khi  $M_{apd}$  tăng đến một giá trị nào đó thì công suất bù không còn tăng theo nữa và đạt đến giá trị bão hoà. Điều này có thể được giải thích như sau: khi  $M_{apd}$  tăng thì dòng photô sau tách sóng quang tăng làm cho tỷ số công suất sóng mang trên tạp âm CNR sẽ tăng theo. Đồng thời khi  $M_{apd}$  tăng đến một giá trị nào đó thì CNR sẽ không còn tăng theo nữa do lúc đó tạp âm thác lũ cũng sẽ tăng tỷ lệ với  $M_{apd}$ , do vậy giá trị công suất bù BER sẽ đạt đến giá trị bão hoà.



Hình 10. Sự phụ thuộc của công suất bù vào BER với các hệ thống có tốc độ bit khác nhau (tách sóng PIN)



Hình 11. Sự phụ thuộc của công suất bù vào BER với các hệ thống có tốc độ bit khác nhau (tách sóng APD)

Hình 10 và 11 so sánh giá trị của công suất bù phụ thuộc vào BER cho các hệ thống có tốc độ bit khác nhau. Ta thấy rằng khi tốc độ bit truyền dẫn tăng lên thì giá trị của công suất bù BER tăng theo tương ứng trong cả hai trường hợp hệ thống dùng tách sóng PIN hay APD. Có được kết quả này là bởi vì khi tốc độ bit truyền dẫn tăng thì băng tần điện  $B_e$  ở bộ thu cũng tăng làm cho tổng công suất tạp âm tăng lên, do đó CNR sau tách sóng quang sẽ giảm.

## 5. Kết luận

Bài báo đã đưa ra một phương pháp mới tính toán công suất bù BER cho việc thiết kế các hệ thống truyền tín hiệu M-QAM qua tuyến thông tin quang. Các kết quả được tính toán, mô phỏng và so sánh trên máy tính cho cả hai hệ thống sử dụng bộ tách sóng PIN hoặc APD. Kết quả này cho phép các nhà thiết kế hệ thống thông tin quang nâng cấp hệ thống đang có lên chất lượng truyền dẫn cao hơn, đáp ứng được với yêu cầu truyền dẫn băng thông rộng ngày nay. Đồng thời nó đặc biệt hữu ích khi thiết kế các hệ thống truyền tín hiệu truyền hình số được điều chế QAM M mức qua tuyến thông tin quang.

Ngoài ra các kết quả đạt có thể được mở rộng, áp dụng trong việc thiết kế, nâng cấp hệ thống thông tin quang ghép kênh theo sóng mang phụ SCM (Subcarrier Multiplexing) đang được nghiên cứu và triển khai rộng rãi trong các hệ thống thông tin quang tốc độ cao ngày nay.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trần Đức Hân, Lê Trung Thành, Phương pháp tính công suất bù BER trong các hệ thống thông tin sợi quang, *Tạp chí Khoa học*, chuyên san KHTN, ĐHSP Hà Nội, No.4(2003), pp.29-35
2. Trần Quốc Dũng, Lê Văn Hải, Phương pháp tính công suất bù BER cho thiết kế các hệ thống thông tin quang, *Tạp chí Bưu chính viễn thông*, Chuyên san các công trình nghiên cứu-triển khai viễn thông và CNTT, Số 4, tháng 11(2000), tr. 20-23
3. Roberto Sabella, Performance analysis of wireless broadband systems employing optical fiber links, *IEEE Transactions on communications*, vol.47, No.5, May (1999), pp.715-721.
4. Kanno, Katsuyoshi, Fiber optic subcarrier multiplexing video transport employing multilevel QAM, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.8, Sep. (1990), pp.1313-1319
5. Shi. Q, Performance limits on M-QAM transmission in hybrid multichannel AM/QAM fiber optic system, *IEEE photonics technology Letters*, Vol.5, Dec. (1993), pp.1452-1455
6. Bernard Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, 1998



VNU. JOURNAL OF SCIENCE, Nat., Sci., & Tech., T.XX, N<sub>0</sub>3, 2004

**A NEW METHOD OF BER COMPENSATIVE POWER CALCULATION FOR  
DESIGNING M-QAM SIGNALS TRANSMISSION SYSTEMS OVER  
OPTIC- FIBER COMMUNICATIONS SYSTEMS**

**Le Trung Thanh**

*Ha Noi University of Transport and Communications*

This paper proposes a new method of BER Compensative Power for designing M-QAM signals transmission fiber-optic communications systems. The results have been calculated, compared and simulated with different parameters of the system.