NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO THIẾT BỊ KHUẾCH ĐẠI QUANG RAMAN SỬ DỤNG CHO CÁC TUYẾN TRUYỀN DẪN QUANG CỰ LY DÀI

Phùng Quang Thanh[1*], Nguyễn Mạnh Toàn[1], Nguyễn Thế Quang[2], Ngô Xuân Mai[3]

Tóm tắt: *Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu thực nghiệm về khả năng chế tạo các bộ khuếch đại tín hiệu trong miền quang dựa trên hiệu ứng tán xạ Raman; mô tả phương pháp chế tạo nguồn bơm laser công suất cao vào môi trường sợi quang SMF, kết hợp với việc tối ưu hóa thiết kế tích hợp linh kiện quang chuyên dụng trong mô đun quang tử. Các laser bơm được lựa chọn với bước sóng tương ứng 1424nm và 1452nm để tạo hiệu ứng khuếch đại cho tín hiệu giám sát kênh quang (OSC-Optical Supervised Channel) và dải tín hiệu băng C (bước sóng 1525-1565nm). Nhóm tác giả đã chế tạo mạch điều khiển các laser bơm công suất cao, kết hợp nghiên cứu lựa chọn các thành phần mô đun quang tử với các đặc tính kỹ thuật phù hợp để tạo ra hiệu quả khuếch đại Raman trong vùng phổ bước sóng băng C. Kết quả nghiên cứu đã được tích hợp thành sản phẩm hoàn chỉnh ứng dụng thực tế trong các hệ thống truyền dẫn quang cự ly dài.*

Từ khóa: Laser bơm công suất cao; Bước sóng OSC; Bước sóng bơm tín hiệu; Quang phổ Raman; Thuật toán điều khiển bơm; Phổ ASE.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các bộ khuếch đại quang Raman hiện nay được sử dụng khá phổ biến trong các mạng truyền thông dung lượng lớn, tốc độ cao [1]. Với khả năng khuếch đại băng rộng và cải thiện tỉ số tín/tạp quang OSNR [1-3], các bộ khuếch đại quang Raman đã góp phần nâng cao cự ly truyền tải trên các tuyến truyền dẫn quang [4-6]. Các nghiên cứu lý thuyết đã chỉ ra những ưu điểm nổi bật của công nghệ khuếch đại Raman so với các loại khuếch đại quang sợi khác, trong đó có thể kể đến đầu tiên là khả năng tạo hiệu ứng khuếch đại trong tất cả các môi trường sợi quang, điều này rất thuận lợi cho việc nâng cấp các tuyến cáp trong hệ thống truyền dẫn [7, 11]. Ưu thế thứ hai là hiệu ứng khuếch đại Raman xảy ra dọc theo môi trường truyền dẫn hoàn toàn trong suốt của sợi quang với dải tín hiệu băng thông rộng [11]. Ưu thế thứ ba là phổ khuếch đại hoàn toàn có thể điều chỉnh được bằng cách điều chỉnh các bước sóng bơm [8-10]. Các nghiên cứu lý thuyết chủ yếu tập trung tối ưu hóa hiệu năng khuếch đại Raman [5-10], không phân tích một cách chi tiết thiết kế hệ thống của các thành phần điện tử và quang tử; do vậy, khả năng hiện thực hóa sản xuất, chế tạo thiết bị khuếch đại Raman trong nước là rất khó khăn.

Bài báo này sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu thực nghiệm công nghệ chế tạo bộ khuếch đại quang Raman dựa trên kỹ thuật bơm laser công suất cao vào sợi quang tiêu chuẩn SMF sử dụng làm môi trường khuếch đại. Các thành phần linh kiện quang sử dụng để tích hợp, tối ưu hóa hiệu năng khuếch đại sẽ được trình bày cùng với các kết quả khảo sát thực nghiệm.

Phần còn lại của bài báo sẽ được tổ chức như sau: Mục 2 trình bày sơ đồ khối và thuật toán mạch điều khiển các laser bơm công suất cao và tổ chức các thành phần của mô đun quang tử. Các kết quả đo đạc, khảo sát, phân tích của sản phẩm tích hợp hoàn thiện sẽ được trình bày trong mục 3. Cuối cùng, phần kết luận của bài báo sẽ được trình bày trong mục 4.

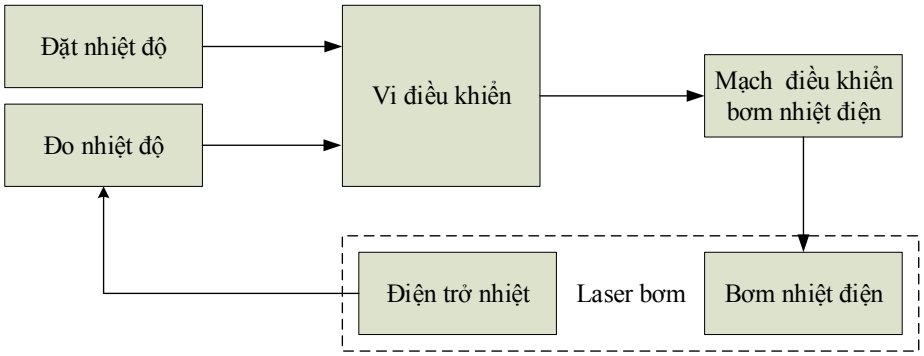
2. THIẾT KẾ MẠCH ĐIỀU KHIỂN LASER BƠM VÀ MÔ ĐUN QUANG TỬ

Nguồn bơm laser là yếu tố quan trọng trong việc duy trì hoạt động ổn định của khuếch

đại quang Raman sử dụng các laser bơm công suất cao. Hai nhân tố chính của bài toán điều khiển là nhiệt độ đế laser và dòng bơm qua laser sẽ góp phần ổn định phổ bước sóng và công suất tín hiệu quang bơm vào môi trường khuếch đại trên sợi quang.

Điều khiển nhiệt độ laser bơm

Mạch điều khiển nhiệt độ thực hiện hai chức năng chính là đo và khống chế nhiệt độ cho các laser. Sơ đồ khối chức năng mạch điều khiển nhiệt độ cho một laser bán dẫn được mô tả như trên hình 1.



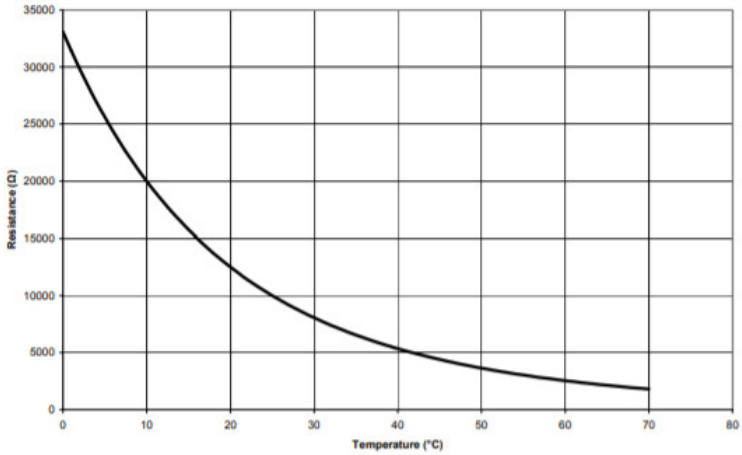
Hình 1. *Sơ đồ khối mạch điều khiển nhiệt độ.*

Khối đặt nhiệt độ thực hiện chuyển giá trị nhiệt độ làm việc mong muốn của laser từ phần mềm đến vi điều khiển. Thông thường nhiệt độ của laser mong muốn ổn định ở 25^0C.

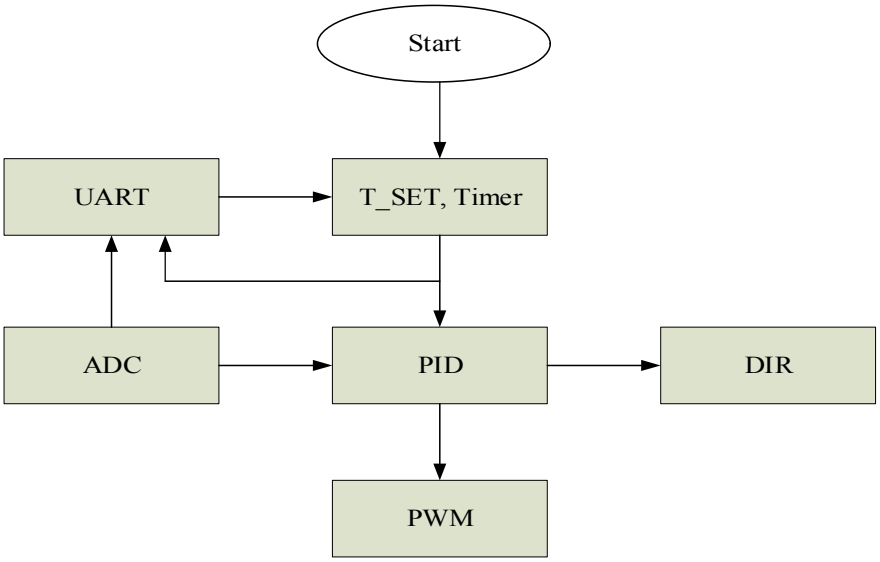
Khối đo nhiệt độ thực hiện chuyển mức biến thiên của điện trở nhiệt bên trong laser bơm thành tín hiệu điện áp tương tự và dữ liệu được chuyển về vi điều khiển để xử lý.

Khối điều khiển bơm nhiệt điện có nhiệm vụ điều khiển bơm nhiệt điện bên trong laser bơm để ổn định nhiệt độ bên trong của nó, duy trì nhiệt độ laser bơm theo ngưỡng thiết đặt.

Bơm nhiệt điện là một loại linh kiện bán dẫn hoạt động theo theo hiệu ứng Peltier, dùng dòng điện để tạo ra dòng nhiệt cưỡng bức ở mối nối của hai loại vật liệu khác nhau dẫn đến chênh lệch nhiệt độ hai mặt của bơm. Giá trị dòng điện càng lớn thì chênh lệch nhiệt độ giữa hai mặt càng lớn, bởi vậy, quá trình sử dụng bơm nhiệt điện để duy trì nhiệt độ laser thực chất là quá trình điều khiển dòng điện chạy qua bơm nhiệt điện. Bơm nhiệt điện là một thành phần nằm bên trong laser bơm, điện áp ngưỡng của Peltier là 4.5V và dòng điện tiêu thụ lớn nhất là 4.5A. Khi sử dụng dòng điện 1.8A đi qua bơm nhiệt điện thì nó có thể tạo ra sự chênh lệch 50^0C giữa hai mặt [15].



Hình 2. *Đặc tuyến phụ thuộc của điện trở vào nhiệt độ trên đế laser [15].*



Hình 3. *Sơ đồ thuật toán điều khiển nhiệt độ.*

Sensor đo nhiệt độ là nhiệt điện trở bán dẫn loại NTC được đặt trên đế của laser bơm. Từ đồ thị đặc tuyến trên hình 2, giá trị điện trở thay đổi theo nhiệt độ trên đế laser là phi tuyến trong một dải nhiệt độ rộng [15], do đó gây khó khăn cho việc thực hiện ánh xạ từ giá trị nhiệt độ sang giá trị điện áp. Giá trị nhiệt điện trở thông thường là 10K±500Ω tại nhiệt độ 25^0C. Thuật toán điều khiển nhiệt độ được trình bày trong hình 3.

Tín hiệu mang thông tin về nhiệt độ bên trong của Laser sẽ được chuyển thành giá trị điện áp và nối với ADC trên vi điều khiển.

Vi điều khiển ở phần này thực hiện 3 vòng lặp và 1 ngắt:

- Vòng lặp thứ nhất là vòng lặp điều chỉnh hoạt động cho bơm nhiệt điện để ổn định nhiệt độ cho laser:

+ Đọc tín hiệu ADC để xác định giá trị điện áp thu được.

+ Từ giá trị điện áp đó để tính ra giá trị của nhiệt điện trở và thông qua đặc tuyến giữa nhiệt độ và nhiệt điện trở (hình 2) để xác định nhiệt độ hiện tại của Laser.

+ Dựa vào sự chênh lệch giá trị nhiệt điện trở với giá trị ngưỡng và sử dụng thuật toán PID để quyết định độ rộng xung điều khiển bơm nhiệt điện (PWM) và chiều dòng điện qua bơm nhiệt điện (DIR).

+ Chu kỳ của vòng lặp này là 10ms.

- Vòng lặp thứ hai là vòng lặp gửi dữ liệu lên phần mềm trên máy tính:

+ Thu thập dữ liệu nhiệt độ laser: Nhiệt độ laser thu được từ biến đổi ADC của điện áp rơi trên nhiệt điện trở trong laser.

+ Thu thập dữ liệu nhiệt độ môi trường: Nhiệt độ môi trường tỷ lệ với giá trị điện áp thu được từ cảm biến nhiệt độ LM35 trên mạch.

+ Gửi dữ liệu lên phần mềm trên máy tính theo cấu trúc như sau.

[0x40][ID]:[GT]|[ID]:[GT]…… [0x41]

Trong đó:

0x40 là byte thông báo bắt đầu bản tin truyền.

0x41 là byte thông báo kết thúc bản tin truyền.

ID là tên đại lượng đo có các giá trị sau:

MT: Nhiệt độ môi trường.

T1..3: Nhiệt độ laser 1..3.

GT là giá trị của các đại lượng theo đơn vị chuẩn.

- Vòng lặp thứ ba là vòng lặp chính:

+ Xét giá trị của cờ ngắt các vòng lặp.

+ Gọi các chương trình thực hiện trong hai vòng lặp trên khi cờ ngắt tương ứng của chúng được bật lên.

- Trong quá trình hoạt động vi điều khiển thực hiện 1 ngắt UART để cập nhật các giá trị ngưỡng thiết đặt từ phần mềm trên máy tính.

Cấu trúc lệnh

[0x40][ID]:[GT]|[ID]:[GT]…… [0x41]

Trong đó:

0x40 là byte thông báo bắt đầu bản tin truyền.

0x41 là byte thông báo kết thúc bản tin truyền.

ID là tên đại lượng thiết đặt có các giá trị sau:

TS1..3: Nhiệt độ laser 1..3.

GT là giá trị của các đại lượng theo đơn vị chuẩn.

Nhận được lệnh chương trình thực hiện thay đổi ngưỡng nhiệt độ trong thuật toán PID.

Điều khiển dòng bơm

Mạch điều khiển dòng điện thực hiện hai chức năng chính là đo dòng điện tiêu thụ trên laser và điều khiển dòng điện tiêu thụ trên laser theo ngưỡng đặt từ phần mềm.

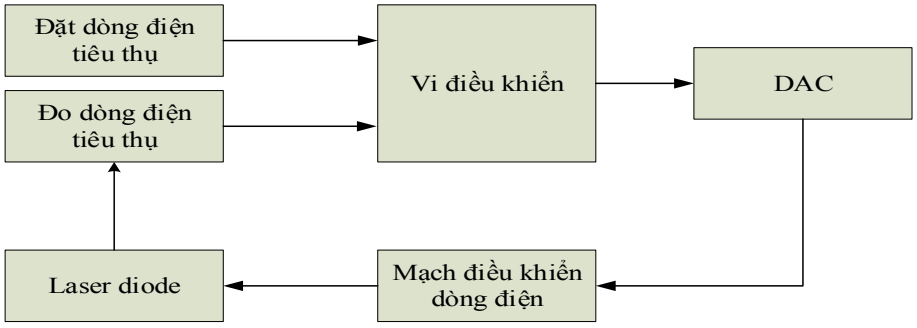
Sơ đồ khối chức năng mạch điều khiển dòng điện cho một laser bán dẫn được mô tả như trên hình 4. Trong đó:

Khối đặt dòng điện tiêu thụ thực hiện chuyển giá trị dòng điện tiêu thụ mong muốn của laser từ phần mềm đến vi điều khiển. Giao tiếp sử dụng trong khối này là UART với mức điện áp 5V (TTL).

Khối đo dòng điện tiêu thụ thực hiện chuyển mức biến thiên của dòng điện trong laser bơm thành tín hiệu điện áp tương tự và chuyển về vi điều khiển.

Khối DAC có nhiệm vụ chuyển đổi tín hiệu giá trị số thành tín hiệu điện áp tương tự để đưa vào khối mạch điều khiển dòng điện.

Khối mạch điều khiển dòng điện có chức năng điều khiển chính xác dòng điện tiêu thụ trên laser bơm, cụ thể là dòng đi qua laser diode với sai số 1% so với toàn thang.

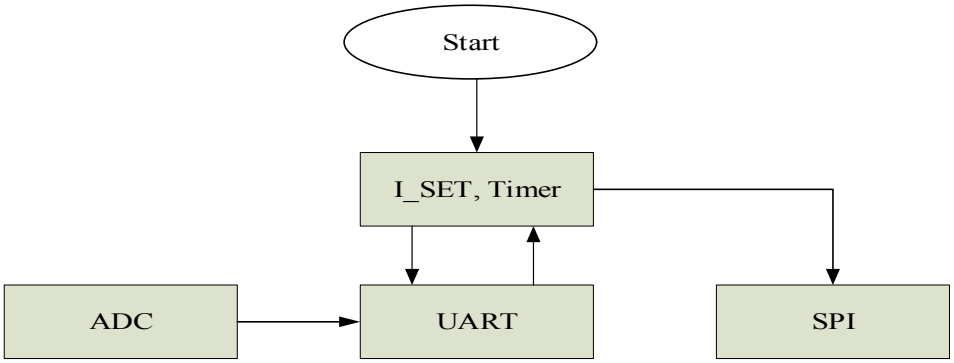


Hình 4. *Sơ đồ khối chức năng mạch điều khiển dòng laser bơm.*

Module laser sử dụng laser diode có dòng tiêu thụ tối đa là 1600 mA, điện áp định mức

2.6V, điện áp ngược giới hạn là 2V. Công suất đầu ra lớn nhất đạt được là 320mW với bước sóng trung tâm nằm trong dải 1460 ÷1490nm.

Tín hiệu mang thông tin về dòng điện bên trong của Laser sẽ được chuyển thành giá trị điện áp và nối với ADC trên vi điều khiển.



Hình 5. *Lưu đồ thuật toán điều khiển dòng bơm.*

Vi điều khiển ở phần này thực hiện 2 vòng lặp và 1 ngắt:

- Vòng lặp thứ nhất là vòng lặp gửi dữ liệu lên phần mềm trên máy tính:

+ Thu thập dữ liệu dòng điện tiêu thụ của laser: Dòng điện tiêu thụ của laser thu được qua biến đôi ADC điện áp đầu ra của mạch đo dòng điện tiêu thụ.

+ Thu thập dữ liệu công suất quang của laser và tại các điểm đo: Công suất quang thu được qua biến đôi ADC điện áp đầu ra của mạch đo công suất quang tương ứng.

+ Gửi dữ liệu lên phần mềm trên máy tính theo cấu trúc như sau.

[0x40][ID]:[GT]|[ID]:[GT]…… [0x41]

Trong đó:

0x40 là byte thông báo bắt đầu bản tin truyền.

0x41 là byte thông báo kết thúc bản tin truyền.

ID là tên đại lượng đo có các giá trị sau:

I1..3: Dòng điện tiêu thụ của laser 1..3.

P1..3: Công suất quang của laser 1..3.

D1..3: Công suất quang đo được tại các vị trí 1..3.

GT là giá trị của các đại lượng theo đơn vị chuẩn.

- Vòng lặp thứ ba là vòng lặp chính:

+ Xét giá trị của cờ ngắt các vòng lặp.

+ Gọi các chương trình thực hiện trong hai vòng lặp trên khi cờ ngắt tương ứng của chúng được bật lên.

- Trong quá trình hoạt động vi điều khiển thực hiện 1 ngắt UART để cập nhật các giá trị ngưỡng thiết đặt từ phần mềm trên máy tính.

Cấu trúc lệnh

[0x40][ID]:[GT]|[ID]:[GT]…… [0x41]

Trong đó:

0x40 là byte thông báo bắt đầu bản tin truyền.

0x41 là byte thông báo kết thúc bản tin truyền.

ID là tên đại lượng thiết đặt có các giá trị sau:

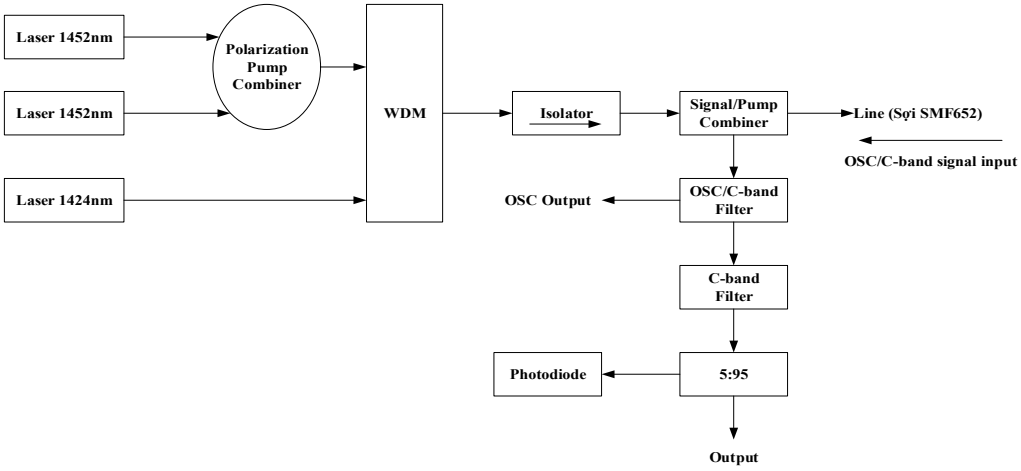
IS1..3: Dòng điện tiêu thụ của laser 1..3.

GT là giá trị của các đại lượng theo đơn vị chuẩn.

Nhận được giá trị thiết đặt dòng điện tiêu thụ, chương trình sẽ thực hiện xuất tín hiệu điện áp thông qua lệnh theo giao tiếp SPI đến khối DAC.

Mô đun quang tử

Bộ khuếch đại quang Raman được thiết kế với mục tiêu ứng dụng trên các mạng truyền dẫn quang sử dụng công nghệ ghép bước sóng, do đó, việc lựa chọn các thành phần trong mô đun quang tử phải đảm bảo sự tương thích với các hệ thống này về phổ bước sóng của tín hiệu quang. Tài liệu kỹ thuật của các hãng cung cấp thiết bị viễn thông hiện nay như Alcatel-Lucent [13], Ciena [16] và Cisco [17] đã chỉ ra rằng: Dải bước sóng cần khuếch đại bao gồm các bước sóng tín hiệu điều chế trong dải C-band (1525-1565nm) và bước sóng giám sát kênh quang OSC (là 01 bước sóng nằm trong dải 1500-1525nm). Để khuếch đại tín hiệu đầu vào dựa trên hiệu ứng tán xạ Raman cưỡng bức trong sợi quang cần thiết kế nguồn bơm laser công suất cao với bước sóng phù hợp để sóng Stokes của tán xạ Raman nằm trong vùng bước sóng tín hiệu. Phần tích hợp mô đun quang tử, đề tài đề xuất lựa chọn các thành phần và mô hình kết nối như trong hình 6.



Hình 6. *Sơ đồ liên kết quang bộ khuếch đại Raman.*

Trong sơ đồ này, hai loại laser bơm công suất cao được sử dụng cho mục đích khuếch đại tín hiệu dải băng C và tín hiệu giám sát kênh quang OSC. Các bước sóng bơm được sử dụng là 1424nm cho khuếch đại tín hiệu OSC và 1452nm cho khuếch đại tín hiệu trong dải C-band. Trên thị trường hiện nay, laser bước sóng 1452nm có nhiều loại với mức công suất bơm khác nhau, nếu sử dụng loại laser có công suất 320mW thì phải thực hiện cộng công suất 2 laser bằng bộ cộng PBC (Polarization Beam Combiner, hiệu suất ≥ 80%) để đạt được công suất đủ lớn bơm vào môi trường khuếch đại; nếu sử dụng loại laser có công suất ≥500mW thì không cần thực hiện cộng công suất. Vòi bơm của các laser diode sử dụng sợi quang PM (Polarization-Maintaining) để duy trì phân cực, do đó, bộ cộng công suất PBC cũng được lựa chọn với sợi PM tại các ngõ vào để đảm bảo độ cách ly phân cực. Tín hiệu bơm bước sóng 1452nm sau đó được ghép phổ với bước sóng 1424nm thông qua linh kiện ghép bước sóng quang. Tại đầu ra của bộ ghép bước sóng, tín hiệu được đưa qua bộ cách ly quang công suất cao nhằm hạn chế các phản xạ ngược ảnh hưởng tới tuổi thọ các laser bơm công suất cao. Tín hiệu 2 bước sóng bơm kết hợp được bơm vào tuyến truyền dẫn để tạo hiệu ứng khuếch đại Raman trong môi trường khuếch đại sợi quang. Trong sơ đồ quang tử được thực nghiệm, đề tài sử dụng linh kiện chuyên dụng

Signal/Pump Combiner để kết hợp bước sóng bơm và bước sóng tín hiệu (dải C-band). Signal/Pump Combiner là phần tử quan trọng quyết định đến phẩm chất của bộ khuếch đại, do đó, các chỉ tiêu kỹ thuật cần được đánh giá, lựa chọn kỹ nhằm hạn chế nhiễu dư bước sóng bơm do độ cách ly thấp giữa các cổng tín hiệu và tăng hiệu quả khuếch đại Raman trên tuyến truyền dẫn. Tín hiệu sau khi khuếch đại sẽ được tách tín hiệu OSC và tín hiệu C-band thông qua bộ lọc OSC/C-band tại các ngõ ra của bộ khuếch đại. Để thực hiện giám sát công suất tín hiệu đầu ra, một bộ chia tín hiệu 5:95 có thể được sử dụng ở đầu ra của bộ tách OSC/C-band.

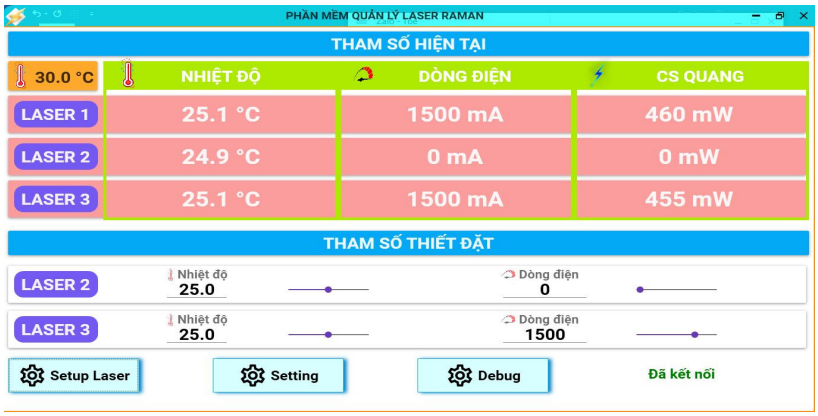
3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Mạch điện tử được thiết kế để điều khiển ổn định nhiệt độ và dòng bơm cho 3 mô đun laser (2 laser bước sóng 1452nm và 1 laser bước sóng 1424nm) cho phép ổn định nhiệt độ ở 25^0C±0.1^0C, dòng đặt lên đến 2000mA±1mA. Kết quả đo nhiệt độ đế laser, dòng bơm và công suất tín hiệu trong bảng 1 cho thấy mạch điều khiển làm việc ổn định.

Bảng 1. *Bảng kết quả đo công suất, nhiệt độ và dòng bơm các laser bơm.*

Nhiệt độ thiết đặt (^{o}C)	Dòng thiết đặt (mA)	LS1 (1452 nm)			LS2 (1425 nm)			LS3 (1452 nm)		
		Nhiệt độ (^{o}C)	Dòng (mA)	P (mW)	Nhiệt độ (^{o}C)	Dòng (mA)	P (mW)	Nhiệt độ (^{o}C)	Dòng (mA)	P (mW)
25	0	25.0	0	0	25.0	0	0	25.0	0	0
25	100	25.1	101	10	25.1	99	10	25.1	101	13
25	200	25.0	202	54	25.1	199	40	25.0	203	60
25	500	25.0	502	174	25.0	499	125	25.1	501	177
25	850	25.1	852	291	25.0	853	210	25.0	851	290
25	1000	25.0	1003	336	25.1	993	242	25.1	1001	335
25	1300	25.0	1301	410	25.0	1291	302	25.0	1303	413
25	1500	25.1	1504	455	25.1	1490	335	25.1	1502	450
25	1700	25.0	1702	493				25.1	1701	487

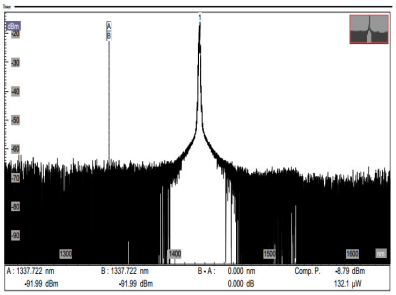
Để thuận tiện trong việc giám sát, điều khiển các tham số của laser bơm, phần mềm điều khiển trên máy tính được thiết kế cho phép thiết đặt các tham số cho các laser bơm, thay đổi dòng bơm, giám sát các tham số về nhiệt độ, dòng bơm, công suất tín hiệu quang theo thời gian thực.



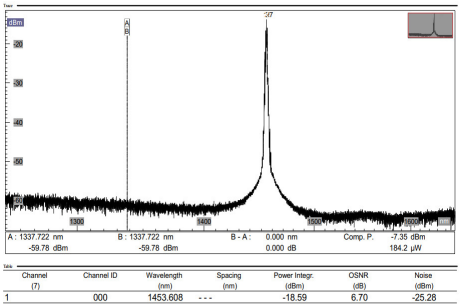
Hình 7. *Giao diện phần mềm điều khiển Raman.*

Trong đó, laser 1 và laser 3 có cùng bước sóng 1452nm, laser 2 có bước sóng 1424nm. Phổ tín hiệu bước sóng bơm kết hợp được quan sát trên máy phân tích phổ có độ ổn định

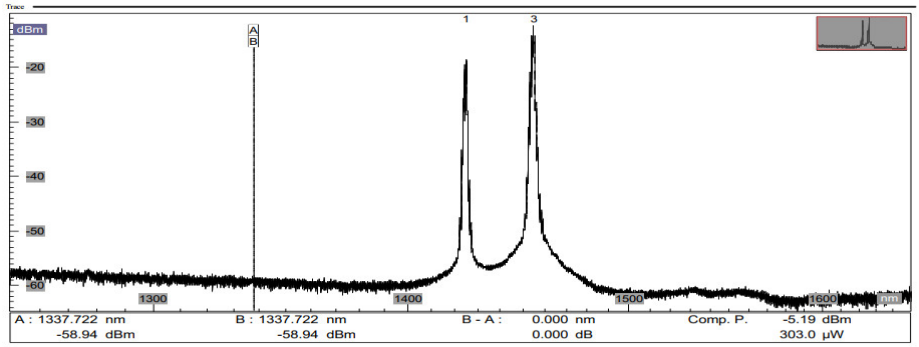
về bước sóng và công suất đỉnh. Khi thay đổi tham số thiết đặt về dòng điện trên phần mềm điều khiển, đỉnh phổ cũng tăng/giảm theo sự tăng/giảm của dòng bơm thiết đặt, công suất quang đo được trên máy phân tích phổ tương đương với công suất hiển thị trên phần mềm điều khiển, sai lệch tần số bước sóng trung tâm là ≤ 0.1nm



Hình 8. *Phổ bước sóng bơm 1424nm.*

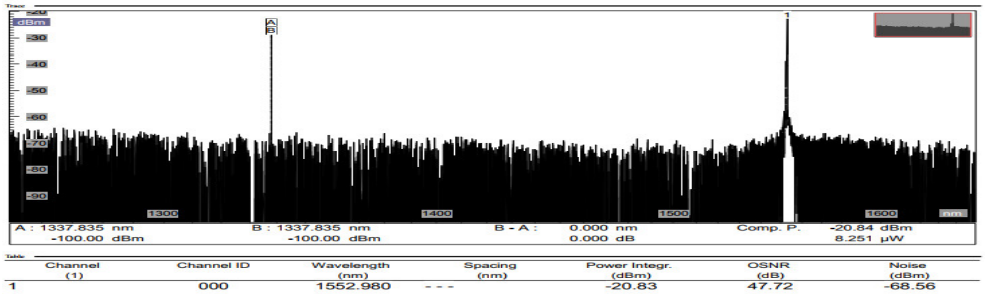


Hình 9. *Phổ bước sóng bơm 1452nm.*



Hình 10. *Phổ tín hiệu bước sóng bơm kết hợp được bơm vào môi trường khuếch đại sợi quang.*

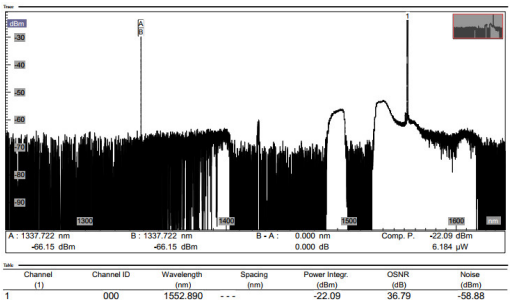
Tín hiệu đầu vào cần khuếch đại là bước sóng phổ hẹp trong hệ thống truyền dẫn quang ghép bước sóng – còn gọi là tín hiệu WDM (Bước sóng thử nghiệm ~1552 nm), phổ bước sóng tín hiệu WDM có thể quan sát trên hình 11.



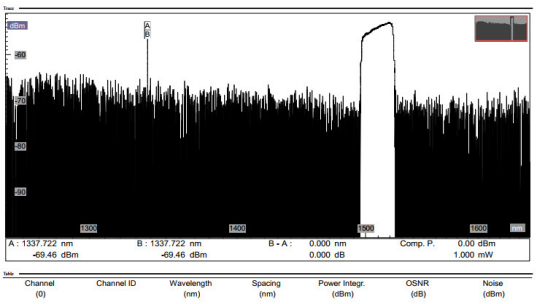
Hình 11. *Bước sóng trong hệ thống truyền dẫn ghép bước sóng.*

Quan sát hiệu ứng Raman xảy ra khi bơm lần lượt từng bước sóng (1424nm và 1452nm) và khi bơm hai bước sóng kết hợp ta thu được vùng phổ khuếch đại tương ứng. Kết quả cụ thể như sau:

+ Khi chỉ bật một laser bơm bước sóng 1424 nm, tín hiệu WDM không khuếch đại, phổ khuếch đại Raman quan sát được (hình 12, hình 13) nằm trong dải 1500÷1524nm, tương ứng với độ dịch tần Raman $\Delta\lambda$=80÷100nm theo lý thuyết. Như vậy, các bước sóng OSC được thiết kế trong các hệ thống ghép bước sóng của các nhà mạng (1510 nm, 1511nm) sẽ được khuếch đại.

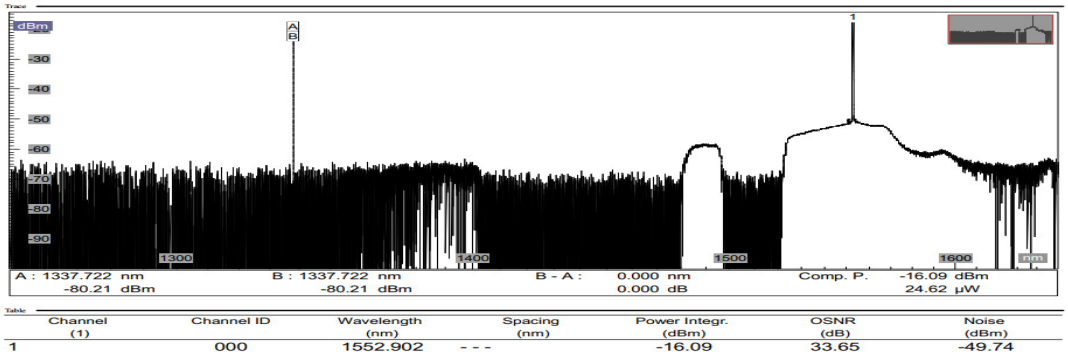


Hình 12. *Phổ tín hiệu tại đầu ra C-band.*



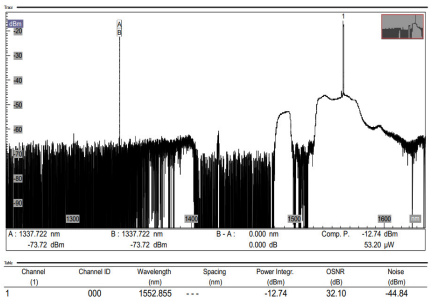
Hình 13. *Phổ Raman tín hiệu OSC.*

+ Khi chỉ bật các laser bơm bước sóng 1452nm, tín hiệu WDM được khuếch đại trên nền phổ ASE trong dải bước sóng C-band (1525÷1565nm) tương ứng với độ dịch tần Raman Δλ=80÷100nm. Trong trường hợp này, phổ khuếch đại Raman cho tín hiệu OSC (1500÷1524nm) có sườn dốc, tương ứng với phần đầu phổ của tín hiệu C-band đã được khuếch đại lên một phần khi bơm với bước sóng 1452nm.

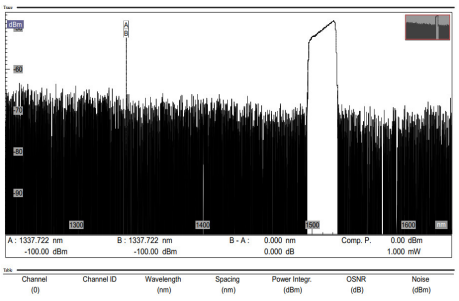


Hình 14. *Phổ tín hiệu tại đầu ra C-band khi bật các bước sóng bơm 1452nm.*

+ Khi bật đồng thời các laser bơm bước sóng 1452nm và 1424nm, tín hiệu WDM và tín hiệu OSC đều được khuếch đại. Trên máy phân tích phổ ta có thể quan sát được vùng phổ khuếch đại Raman cho tín hiệu OSC và C-band, tương ứng với các dải tín hiệu được khuếch đại là 1500÷1524nm và 1525÷1565nm.



Hình 15. *Phổ tín hiệu tại đầu ra C-band.*



Hình 16. *Phổ Raman tín hiệu OSC.*

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày đầy đủ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm bộ khuếch đại quang Raman sử dụng trong hệ thống truyền dẫn quang công nghệ ghép bước sóng. Sản phẩm của đề tài đã được tích hợp và thử nghiệm thực tế trong thời gian dài tại phòng Lab của Trung tâm Kỹ thuật Thông tin Công nghệ cao, trạm truyền dẫn ghép bước sóng Q5 của Lữ

đoàn 134 – Binh chủng Thông tin liên lạc. Các tính năng của phần quang tử đã được tối ưu phù hợp với điều kiện triển khai và đáp ứng các yêu cầu sử dụng trên thực tế. Kết quả nghiên cứu của đề tài có ý nghĩa thực tiễn trong công tác bảo đảm kỹ thuật cho các hệ thống truyền dẫn quang lớp lõi công nghệ ghép bước sóng, là cơ sở để nghiên cứu chế tạo các sản phẩm ứng dụng công nghệ vật liệu quang sử dụng các laser bơm công suất cao.

Lời cảm ơn: *Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí nghiên cứu của Cục Khoa học quân sự - Bộ Quốc phòng, sự giúp đỡ khảo sát đặc tính linh kiện quang, phân tích thiết kế các thành phần trong mô đun quang tử của TS Phạm Thanh Bình – Viện Công nghệ vật liệu – Viện Hàn lâm Khoa học Việt Nam. Đồng thời nhóm tác giả cũng cảm ơn Lữ đoàn 134 - Binh chủng Thông tin liên lạc đã hỗ trợ tích cực trong quá trình thử nghiệm sản phẩm trên mạng truyền dẫn quang ghép bước sóng, đoạn tuyến do Lữ đoàn quản lý.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. V. Kalavally, M. Premaratne, I. Rukhlenko, T. Win, P. Shum, M. Tang *"Novel Directions in Raman Amplifier Research"* Conference Paper, ICICS 2009.

[2]. M. M. N. Islam, *"Raman amplifiers for telecommunications,"* IEEE J.Sel. Topics.Quantum. Electron., vol. 8, pp. 548-59, 2002.

[3]. J. Bromage, *"Raman amplification for fiber communications systems,"* IEEE J. Lightw. Technol., vol. 22, pp. 79-93, 2004.

[4]. S. Namiki and Y. Emori, *"Ultrabroad-band Raman amplifiers pumped and gain equalized by wavelength division multiplexed high power laser diodes,"* IEEE J. Sel. Topics. Quantum. Electron., vol. 7, pp. 3-16, 2001

[5]. X.Liu and B.Lee "*Optimal Design for Ultra-Broad-Band Amplifier*" Journal of lightwave technology, vol. 21, no. 12, december 2003.

[6]. Georgii S. Felinskyil and Pavel A. Korotkov "*Actual band model for design of optical fiber raman amplifier with multiwave pumping*" CAOL2005, 12-77 September 2005, YaIt#, Crimea, Ukraine.

[7]. Carmelo J. A. Bastos-Filho and Elliackin M. N. Figueiredo "*Design of Distributed Optical-Fiber Raman Amplifiers using Multi-objective Particle Swarm Optimization*" Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vol. 10, No. 2, December 2011.

[8]. Victor E. Perlin and Herbert G. Winful "*Optimal Design of Flat-Gain Wide-Band Fiber Raman Amplifiers*" Journal of lightwave technology, vol. 20, no. 2, february 2002.

[9]. J.K. Behera, R.K.Shevgaonkar "*Optimal design of Raman amplifier*" Dept. of Electrical engg, IIT Bombay, Powai, Mumbai, INDIA.

[10].J. D. Ania-Castañón, A. A. Pustovskikh, S. M. Kobtsev and S. K. Turitsyn "*Simple design method for gain-flattened three-pump Raman amplifiers*" Opt Quant Electron (2007).

[11].Mohammed N.Islam "*Raman Amplifiers for Telecommunications*" Opt Quant Electron, vol.8, no.3 (2002).

[12].J.D.Ania-Castanon and S.K.Turitsyn *"Optimization of discrete Raman amplifiers for different kinds of fibers"*, Photonics Research Group, Aston University, Birmingham B4 7ET, UK.

[13].J.-P. Blondel *"RMPM1x00 Raman Pump Installation Guide Line"* ALCATEL – LUCENT (2007).

[14].*"Optoelectronics Circuit Collection"*, Texas Instruments, http://www.ti.com/sc/psheets/sbe a001/sbea001.pdf

[15].*"An Optical Amplifier Pump Laser Reference Design Based on the AMC7820"*, Texas Instruments, http://www.ti.com/lit/an/sbaa072a

[16]. *"6500 Packet-Optical Platform - Photonic Layer Guide, Part 1 of 3"* CIENA (2016).
[17]. *"Annex 0_NCS2K_High-Power Counter-Propagating and Co-Propagating Raman Amplifiers"* CISCO (2016).

ABSTRACT

EXPERIMENTAL DESIGN RESEARCH OF RAMAN OPTICAL AMPLIFIER USING FOR DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

In this paper, the results of experimental research on the ability to create signal amplifiers in the optical domain based on the Raman scattering effect are presented and the method of manufacturing high-power laser pump source into SMF fiber-optic environment, combined with optimizing the design of integrated optical components specialized in photonic modules is described. Pump lasers are selected with the wavelengths of 1424nm and 1452nm, respectively, to create amplification effects for the OSC signal (OSC-Optical Supervised Channel) and the C-band signal (wavelength 1525-1565nm). The authors have created a control circuit for high power pump lasers, combining the research and selection of photonic module components with appropriate technical properties to create Raman amplification effect in C-band wavelength spectrum region. The research results have been integrated into finished products for applying in long-distance optical transmission systems.

Keywords: High Power Pump Laser; OSC Wavelength; Pump Wavelength; Raman Spectroscopy; Pump Control Algorithm; ASE spectrum.

Nhận bài ngày 28 tháng 3 năm 2020
Hoàn thiện ngày 11 tháng 5 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 12 tháng 6 năm 2020

Địa chỉ: [1] Trung tâm Kỹ thuật Thông tin Công nghệ cao – Binh chủng Thông tin liên lạc;
[2] Học viện Kỹ thuật quân sự;
[3] Bộ Tư lệnh Tác chiến không gian mạng.
[*] Email: thanhp2610@gmail.com.