

Nghiên cứu phát triển hệ đo nhiễu cường độ laser tương đối băng thông rộng 40 GHz sử dụng bộ điều khiển PID và bộ xử lý tín hiệu ESA

Ngô Hải Long*, Lưu Hoàng Đạt, Trần Đình Chí, Đỗ Việt Hoàng, Lê Văn Bình, Cao Khắc Thiện, Bành Quốc Tuấn

Phòng Thí nghiệm nghiên cứu phát triển ứng dụng Fiber Laser, Viện Ứng dụng Công nghệ

Ngày nhận bài 1/7/2022; ngày chuyển phản biện 5/7/2022; ngày nhận phản biện 20/7/2022; ngày chấp nhận đăng 26/7/2022

Tóm tắt:

Đo kiểm, đánh giá chất lượng nguồn laser sử dụng trong thông tin quang và đo lường chính xác là rất cần thiết. Nhiễu cường độ tương đối (RIN) là một tham số ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng hệ thống cần phải được đo định kỳ. Nghiên cứu này trình bày một hệ đo RIN có độ nhạy cao, băng thông rộng (40 GHz) sử dụng cảm biến quang điện (PIN box) được kiểm soát nhiệt độ chính xác và bộ phân tích tín hiệu điện ESA (Electrical spectrum analyzer). Giá trị RIN được xác định thông qua việc đo gián tiếp các thành phần: nhiễu nhiệt (Thermal noise), nhiễu tổng hợp (Total detected noise) và nhiễu điện tử (Shot noise) của nguồn laser sử dụng máy phân tích phổ điện tử ESA và đo vạn năng kỹ thuật số siêu nhạy (6^{1/2} Digital multimeter - DMM). Kết quả thực nghiệm việc đo RIN của nguồn laser bán dẫn phản hồi phân bố (DFB) tham khảo đã chỉ ra sự tương đồng của giá trị RIN đo bởi hệ thống và giá trị RIN cung cấp bởi nhà sản xuất.

Từ khóa: bộ điều khiển PID, ESA, laser, nhiễu cường độ laser tương đối.

Chỉ số phân loại: 2.2

Mở đầu

Công nghệ sóng ánh sáng hiện đại đang phát triển vô cùng nhanh chóng với nhu cầu ngày càng tăng cao và được ứng dụng rộng rãi ở nhiều lĩnh vực khác nhau. Bộ truyền quang và laser trở nên đặc biệt quan trọng vì chúng là một trong những xương sống của nhiều hệ thống quang học, đồng thời ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả của các hệ thống này. Một trong những ứng dụng quan trọng nhất mà laser đóng một vai trò to lớn là liên lạc bằng cáp quang với nhu cầu tốc độ dữ liệu đang tăng lên hàng ngày. Ngoài ra, trong một số ứng dụng đo và cảm biến rất chính xác cần phải sử dụng laser có độ đơn sắc quang phổ cao, chuẩn trực... Tuy nhiên, nguồn laser thường xuất hiện những vấn đề như sự thay đổi về mật độ photon dẫn đến sự thay đổi công suất quang đầu ra tạo ra nhiễu cường độ, khi sự dao động của mật độ sóng mang dẫn đến nhiễu tần số hoặc sự không ổn định trong bước sóng đầu ra được gây ra bởi sự thay đổi nhiệt độ... Điều này tạo ra một dải phổ nhiễu hữu hạn cho các chế độ laser và ảnh hưởng trực tiếp làm giảm giá trị tín hiệu trên nhiễu (Signal to noise ratios - SNR) hoặc làm tăng tỷ lệ lỗi bit (Bit errors rates - BER). Do đó, trong nhiều ứng dụng thông tin về phổ nhiễu cường độ rất được quan tâm, đặc biệt là trong các hệ thống thông tin liên lạc truyền dẫn quang, người sử dụng cần biết các đặc tính nhiễu cường độ của laser vì những ảnh hưởng của nó tác động trực tiếp đến hiệu quả và tốc độ truyền dữ liệu của hệ thống [1-5]. Vậy nên, để tăng tốc độ dữ liệu, cần một giá trị đại diện để xác định và đánh giá giá trị nhiễu cường độ trên.

RIN là giá trị thường được sử dụng để đánh giá nhiễu cường độ cũng như chất lượng của nguồn laser [1-4, 6]. Trong các hệ thống analog, RIN quyết định chỉ số SNR cần thiết để nhận được tín hiệu. Đối với hệ thống Digital, RIN quyết định chỉ số BER. Do

đó, nhu cầu của thị trường thế giới với các thiết bị đo RIN khá lớn, đặc biệt là các nhà sản xuất nguồn laser cho thông tin quang và đo lường chính xác. Hiện nay, có 3 cách phổ biến được áp dụng để đo RIN là phương pháp trừ (Subtraction method), hiệu chuẩn nhiễu điện tử (Shot noise calibration method) và hiệu chuẩn laser RIN thấp (Low - RIN laser calibration method). Trong đó, phương pháp trừ được sử dụng nhiều trong các thiết bị đo RIN trên thị trường như: Agilent 71400C, Agilent 71401C, Agilent N4371A của Hãng Agilent hay DSA8300 của Hãng Tektronix [5, 7-9]. Vậy nên việc nghiên cứu, xây dựng, chế tạo và thử nghiệm một hệ thống đo RIN theo phương pháp trừ sẽ đem lại khả năng so sánh tính năng của hệ thống so với các thiết bị phổ biến trên thế giới. Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày một hệ đo RIN có độ nhạy cao, băng thông rộng sử dụng PIN box được kiểm soát nhiệt độ chính xác và bộ phân tích tín hiệu điện ESA để đánh giá nhiễu RIN của nguồn DFB laser tham chiếu có bước sóng 1550,12±0,1 nm. Hệ thiết bị đo RIN sẽ là một giải pháp xác định chất lượng nguồn laser với độ chính xác cao và chi phí thấp hơn so với các thiết bị hiện có trên thị trường. Nguyên lý hệ thống đo RIN, các thiết bị được sử dụng trong thực nghiệm và kết quả đo được trình bày chi tiết trong bài báo này.

Nguyên lý hệ thống đo RIN

Đo RIN bằng phương pháp trừ

Nhiễu cường độ laser chủ yếu là do sự bức xạ hỗn loạn của các bước sóng khác nhau trong buồng cộng hưởng laser bên cạnh bước sóng laser chính. Nhiễu cường độ phụ thuộc vào các thông số cấu trúc của buồng cộng hưởng và môi trường khuếch đại laser. Các điều kiện hoạt động như mức phân cực và tần số điều chế cũng ảnh

*Tác giả liên hệ: Email: long@senac.com.vn

Research and development of 40 GHz bandwidth laser relative intensity noise measurement system using PID controller and ESA spectrum analyser

Hai Long Ngo*, Hoang Dat Luu, Dinh Chi Tran,
Viet Hoang Do, Van Binh Le, Khắc Thiên Cao,
Quoc Tuan Banh

Laboratory for Optical Fiber Laser Research Development and Application,
National Center for Technological Progress

Received 1 July 2022; accepted 26 July 2022

Abstract:

Measuring and evaluating the quality of laser sources used in optical communications and in the precision measurement system is essential. Relative intensity noise (RIN) is a parameter that directly affects the system quality. Therefore, RIN needs to be measured periodically. This study presents a high-sensitivity, broadband (40 GHz) RIN measurement system using a precisely temperature-controlled photodetector and an electrical spectrum signal analyser. RIN value is determined through indirect measurement of noise components: thermal noise, total detected noise, and the shot noise of the laser source. These noises are measured by using an Electrical spectrum analyser (ESA) and a super sensitive $6\frac{1}{2}$ digital multimeter (DMM). The experimental results of the RIN measurement of the reference Distributed feedback (DFB) laser source show the similarity between the RIN value measured by the system and the RIN value provided by the manufacturer.

Keywords: ESA, laser, PID controller, relative intensity noise.

Classification number: 2.2

hường trực tiếp đến độ nhiễu. Sự tác động từ bên ngoài hoặc phản xạ ngược tia laser cũng làm tăng nhiễu này. Nhiễu cường độ laser đạt cực đại tại điểm cộng hưởng. Trong thực tế, các nguồn nhiễu phụ khác từ những linh kiện điện tử sẽ thêm vào nhiễu cường độ laser. Các nguồn nhiễu phụ này thường là dòng tối (Dark current) từ cảm biến quang, nhiễu nhiệt từ các thành phần điện như bộ khuếch đại, thiết bị ESA và một nguồn nhiễu khác xuất phát từ bản chất lượng tử ánh sáng đó là nhiễu điện tử. Một hệ thống thu quang điển hình bao gồm một bộ photodetector (PD) và bộ khuếch đại, nhiễu đo được ở đầu ra máy thu là tổng của các nguồn nhiễu cơ bản nêu trên [1]. Tổng công suất nhiễu của hệ thống $N_T(f)$ sẽ được tính toán là giá trị tuyến tính tổng hợp của 3 nguồn nhiễu này:

$$N_T(f) = N_L(f) + N_q + N_{th}(f) \quad (1)$$

trong đó: $N_L(f)$ là công suất nhiễu cường độ laser trên 1 Hz; N_q là công suất nhiễu điện tử trên 1 Hz; $N_{th}(f)$ là công suất nhiễu nhiệt trên 1 Hz.

Xét với từng loại nhiễu, ta sẽ có thể xác định giá trị của chúng theo các phương pháp và thiết bị khác nhau. Đầu tiên, nhiễu nhiệt có thể được thể hiện theo nhiều cách và thường được mô tả như một hệ số nhiễu được biểu thị bằng dB, thông thường sẽ lớn hơn so với giới hạn dưới của nhiệt độ phòng là -174 dBm/Hz [1, 4, 6]. Khi các hệ thống xử lý tín hiệu quang học, bộ khuếch đại và các thiết bị điện tử đi kèm theo diode quang vận hành cũng sẽ tạo ra nhiễu nhiệt. Theo công thức (1), khi laser tắt hay không có tín hiệu, ta có giá trị $N_q = N_L(f) = 0$. Vậy nên, giá trị nhiễu nhiệt sẽ được xác định trên ESA khi tắt laser đầu vào. Giá trị nhiễu nhiệt N_{th} được xác định theo công thức sau [1, 4-6]:

$$N_{T(L-off)} = N_{th} \quad (2)$$

Khi bật nguồn laser cấp tín hiệu quang học đầu vào, cảm biến hoạt động ổn định, nhiễu nhiệt thường sẽ không thay đổi. Các photon khi đến cảm biến và các tính toán thu tín hiệu liên quan sẽ gây ra nhiễu điện tử. Do đó, nhiễu điện tử N_q xuất hiện tại cảm biến quang học và tăng theo tỷ lệ thuận với công suất quang học được thu bởi cảm biến. Nó có thể được xác định bằng phép đo cường độ dòng tại cảm biến [1, 4, 5]:

$$N_q = 2 \cdot q \cdot I_{dc} \cdot R_L \quad (3)$$

trong đó: q là điện tích electron ($1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb); I_{dc} là cường độ dòng điện ra khỏi diode theo công suất quang trung bình thu vào từ cảm biến theo điện trở tải R_L . I_{dc} có thể được xác định bằng cách đo công suất quang trung bình P_0 đến cảm biến quang như sau:

$$I_{dc} = r \cdot P_0 \quad (4)$$

trong đó: r là độ nhạy của bộ cảm biến quang.

Tuy nhiên, vì có sự tổn hao ở phần cắm sợi quang (nếu sử dụng fiber) và lượng công suất quang tác động lên cảm biến chỉ được xác định xấp xỉ, nên công suất quang P_0 phải được xác định gián tiếp bằng cách đo điện áp U_{out} trên điện trở đầu ra.

$$P_0 = \frac{U_{out}^2}{r \cdot R_{out}} \quad (5)$$

Thay phương trình (4) và (5) vào (3) ta được:

$$N_q = 2 \cdot q \cdot U_{out} \cdot \frac{R_L}{R_{out}} \quad (6)$$

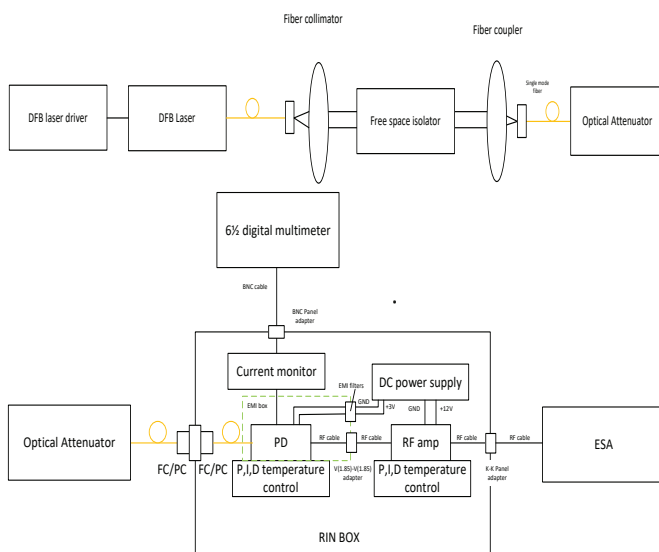
Cuối cùng, giá trị độ nhiễu tổng thể N_T được đo bằng ESA có bật laser. Nhiễu nhiệt N_{th} và nhiễu điện tử N_q lần lượt là kết quả của các phương trình (2) và (6). Thay vào phương trình (1) ta sẽ thu được giá trị nhiễu cường độ laser N_L theo biểu thức liên hệ sau:

$$N_L(f) = N_T(f) - N_q - N_{th}(f) \quad (7)$$

Hệ thực nghiệm đo RIN

Hình 1 mô tả sơ đồ hệ thống đo RIN. Theo đó, chúng tôi sử dụng thiết bị đo là ESA và DMM để đo nhiễu nhiệt N_{th} , nhiễu điện

từ N_q và nhiễu tổng thể N_T theo các phương trình nêu trên. Chúng tôi thiết kế, chế tạo một RIN box để thu tín hiệu từ nguồn laser cần đo và chuyển về các thiết bị đo. Một bộ biến đổi quang điện (PD) có mức noise thấp, băng thông rộng được sử dụng. Đây là linh kiện rất quan trọng quyết định chất lượng của hệ thống đo RIN. PD cần được hoạt động trong điều kiện ổn định nhiệt độ cao và cách ly nhiễu điện từ trường để không gây ảnh hưởng đến hiệu suất biến đổi quang điện. Tín hiệu về ESA sẽ được đi qua bộ khuếch đại tín hiệu (RF Amp) bằng cáp RF trước khi được xử lý và hiển thị trên ESA để xác định nhiễu nhiệt N_{th} và nhiễu tổng thể N_T . Bên cạnh đó, giá trị nhiễu điện từ được tính thông qua giá trị cường độ dòng của PD. Giá trị dòng này được xác định theo công thức (4 và 5) từ điện áp trên trở đầu ra của DMM sau khi lấy từ RIN box qua rơ le ngưỡng dòng (Current monitor). Các cảm biến PD và khuếch đại RF Amp đều được ổn định nhiệt bằng các thiết bị kiểm soát nhiệt độ PID số (PID temperature control). PD sử dụng trong thiết bị RIN box cần được đặt trong một hộp cách ly nhiễu sóng điện từ (EMI box) để loại bỏ ảnh hưởng của sóng điện từ (Electromagnetic interference - EMI) từ môi trường có thể tác động đến bộ chuyển đổi quang điện. Các thiết bị kết nối trên EMI box cần phải thông qua một EMI filter để loại bỏ nhiễu từ các thiết bị kết nối với RIN box.



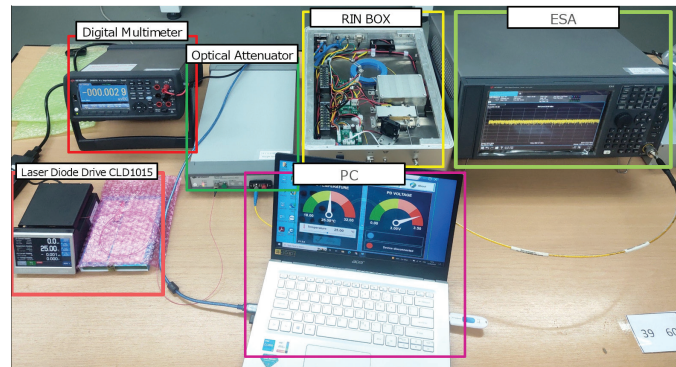
Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống đo RIN.

Nguồn laser DFB sử dụng trong thử nghiệm cần được ổn định nhiệt để cường độ laser là không đổi trong quá trình đo nhiễu RIN. Laser phát ra sẽ được đi qua hệ cách ly quang học để ngăn sự phản xạ trở lại nguồn và gây mất ổn định. Để đảm bảo cường độ laser không bị quá mạnh gây bão hòa bộ PD, một bộ suy hao quang được sử dụng trước khi đưa laser vào RIN box. Thiết bị suy hao quang này có tác dụng ổn định công suất laser theo thông số được cài đặt từ bộ điều khiển trước khi truyền tới cảm biến quang học PD trong RIN box. Khi đó, các giá trị nhiễu nhiệt N_{th} , nhiễu điện từ N_q và nhiễu tổng thể N_T trong tín hiệu thu được từ cảm biến quang sẽ được ghi lại bằng các thiết bị đo như ESA, DMM và gửi về PC xử lý trên phần mềm qua phương pháp trừ để xác định được RIN.

Thực nghiệm

Hệ thống đo RIN

Hình 2 mô tả nguyên mẫu hệ thống đo thử nghiệm RIN. Theo đó, chúng tôi sử dụng FRL15DCWD-A81-19340 DFB laser của Furukawa Electric Company Ltd. làm nguồn phát laser để đo kiểm. Nguồn laser này có bước sóng $1550,12 \pm 0,1$ nm, công suất đầu ra tối thiểu là 10 mW và thông số RIN tại cường độ suy hao công suất trở lại (Optical return loss) < 25 dB, trong dải tần số từ 100 MHz đến 10 GHz là -133 dB/Hz [10]. Nhằm mục đích ổn định nhiệt độ và cường độ của nguồn laser này, bộ điều khiển CLD1015 DFB Laser Driver của Thorlabs [11] được sử dụng để ổn định nhiệt độ ở mức 25°C và cường độ dòng tại 29 mA. Chúng tôi đã phát triển và chế tạo một hệ thống thu nhận sử dụng RIN box. Trong đó, cảm biến được sử dụng là P-40A/HP/8V/Z50 (Picometrix) có công suất thu trung bình tối đa là 10 mW [12]. Để thiết bị có thể đo được công suất tín hiệu từ nguồn phát và ổn định công suất thu ở giá trị được cài đặt trước và nằm trong vùng đo của cảm biến, tín hiệu quang học được truyền dẫn từ nguồn phát đến một bộ suy hao Optical Attenuator N7752A [13] của Keysight thông qua sợi fiber đơn mode. Sợi fiber này có tác dụng như một bộ cách ly quang nhằm hạn chế hiện tượng phản xạ một phần từ các linh kiện quang trong hệ thống. Tín hiệu từ RIN box sẽ được truyền sang máy Keysight ESA N9010B [14] để ghi lại và lưu dữ liệu nhiễu tổng hợp và nhiễu nhiệt qua cáp RF. Nhiễu điện từ được tính theo dòng của cảm biến khi nhận laser. Giá trị dòng điện này đo gián tiếp từ điện áp trên trở đầu ra của Keysight $6\frac{1}{2}$ DMM 34461A [15]. Các giá trị đo được lưu trữ và chuyển về máy tính cá nhân PC để xử lý và tính ra RIN cũng như quan sát các giá trị N_{th} , N_q , N_T đo được.

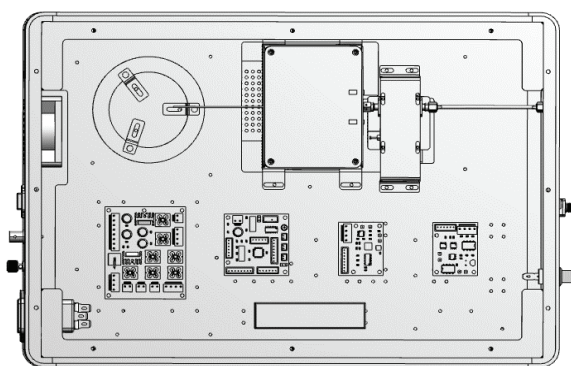


Hình 2. Hệ thực nghiệm đo RIN.

RIN box

Để có một bộ RIN box đo được nhiễu laser với độ chính xác cao thì việc chọn linh kiện và thiết kế vị trí linh kiện tối ưu cũng là một trong những yếu tố quyết định. Hình 3 là sơ đồ thiết kế RIN box gồm có 4 PCB chính bao gồm: mạch nguồn, mạch kiểm soát nhiệt độ, mạch PD và mạch điều khiển. Trong đó, mạch nguồn có chức năng chia nhỏ nguồn tổng thành nhiều nguồn điện để cung cấp nguồn nuôi cho các mạch khác. Thiết kế mạch nguồn phải có yêu cầu cao về độ ổn định, sử dụng nhiều bộ lọc và cần phải tách riêng âm nguồn của tín hiệu tương tự và

tín hiệu số. Mạch kiểm soát nhiệt độ là một phần quan trọng của RIN box, nó có chức năng điều chỉnh bộ ổn định nhiệt độ cho RIN box một cách chính xác (sai số $\pm 0,1^\circ\text{C}$). Tiếp theo, mạch PD có nhiệm vụ cung cấp điện áp cho RIN box, nguồn điện phải ổn định và có thể thay đổi tùy vào người sử dụng để cảm biến hoạt động ở trạng thái tốt nhất giúp kết quả đo RIN có độ chính xác cao. Ngoài ra, trên mạch PD có đầu ra cổng BNC để lấy tín hiệu cường độ dòng điện của diode quang - là thông số để đo N_q . Mạch điều khiển sử dụng vi điều khiển Atmega328P, là một vi điều khiển tiên tiến và có nhiều tính năng. Các tín hiệu từ thiết bị bao gồm: thông số nhiệt độ, điện áp cài đặt cho RIN box, các hệ số PID, công suất làm việc của hệ thống ổn định nhiệt... sẽ được mạch điều khiển thu nhận, xử lý và giao tiếp với máy tính cá nhân thông qua giao tiếp USB.

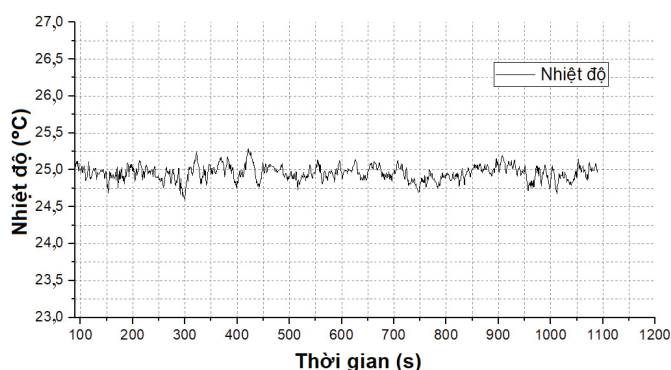


Hình 3. Hệ thực nghiệm RIN box.

Nguồn laser được dẫn bởi sợi quang đơn mode đi vào bộ chuyển đổi quang điện. Đường đi và vị trí của sợi quang cũng cần phải được tính toán và thiết kế sao cho sợi quang trong tình trạng ổn định nhất. Bộ chuyển đổi quang điện được đặt trong hộp kín để tránh sự can nhiễu trong quá trình hoạt động, các tín hiệu ra vào hộp kín này đều được đi qua bộ lọc nhiễu. Ngoài ra, vỏ của RIN box được thiết kế bằng nhôm và đảm bảo các mặt phải tiếp xúc với nhau tạo thành một khối hộp hoàn chỉnh tuân theo nguyên lý lồng Faraday nhằm hạn chế sự tác động của điện trường từ bên ngoài ảnh hưởng đến thiết bị.

Kết quả và đánh giá

Laser được phát từ nguồn DFB laser ổn định nhiệt ở 25°C nhờ PID số. Để RIN box hoạt động ổn định và chất lượng đầu ra được tốt nhất thì việc ổn định nhiệt độ cho cảm biến là điều cần thiết. Biên độ dao động nhiệt độ của RIN box trong 1000 giây được thể hiện trong hình 4. Theo đó, nhiệt độ ổn định ở mức $25^\circ\text{C} \pm 0,08$ với độ lệch chuẩn 0,1 có thể đáp ứng được cho cảm biến quang hoạt động ổn định và cho tín hiệu đầu ra có chất lượng tốt. Cường độ dòng cấp của nguồn laser là 29 mA (≈ 4 mW) thông qua driver CLD1015. Công suất nguồn laser được ổn định bằng bộ suy hao ở mức 1 mW để kiểm tra hoạt động của hệ thống. Sau đó, chúng tôi thực hiện đo RIN ở các mức công suất: 1, 1,5, 2, 2,5 và 3 mW. Điều kiện thực nghiệm của chúng tôi được thể hiện trong bảng 1.

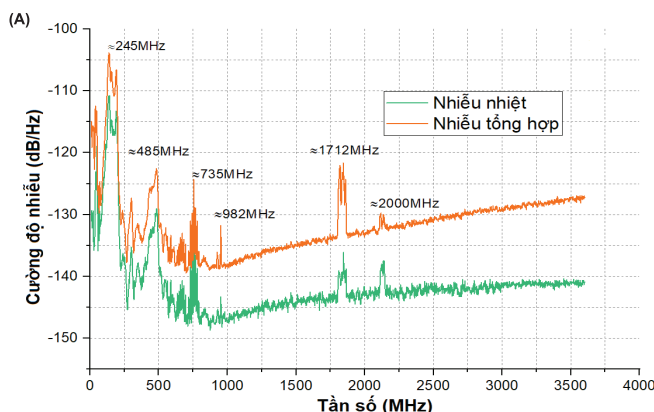


Hình 4. Biểu đồ nhiệt độ của RIN box trong 1000 giây sau 90 giây khởi động PID số cài đặt tại 25°C .

Bảng 1. Điều kiện thực nghiệm.

Laser	Bộ suy hao	Môi trường
Nhiệt độ ổn định: 25°C	Công suất đầu ra: 1 mW	Nhiệt độ: 28°C
Cường độ dòng: 29 mA	Hệ số suy hao: 4,765 dB	Độ ẩm: 39%
Bước sóng: 1550 nm		Áp suất: 1017 hPa

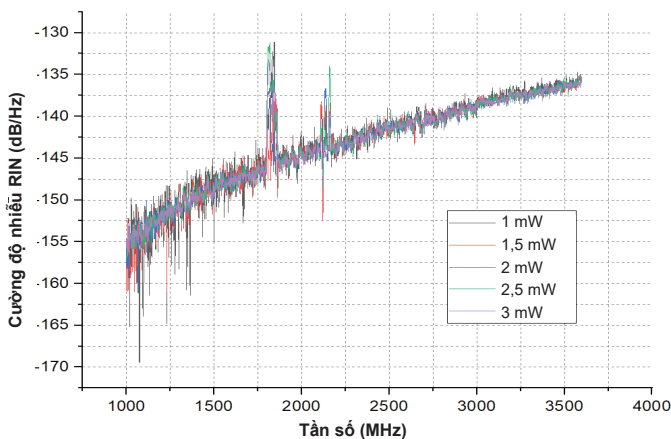
Kết quả đo các giá trị nhiễu nhiệt N_{th} và nhiễu tổng hợp N_T từ ESA và nhiễu điện tử từ DMM được thể hiện ở hình 5. Theo đó, giá trị nhiễu nhiệt và nhiễu tổng hợp ở mức công



Hình 5. Kết quả đo nhiễu nhiệt, nhiễu tổng hợp và nhiễu điện tử. (A) Nhiễu tổng hợp N_T , nhiễu nhiệt N_{th} ở công suất 1 mW; (B) Kết quả đo nhiễu điện tử N_q khi thay đổi công suất.

sau laser 1 mW sau khi qua bộ suy hao được thể hiện trong hình 5A. Các giá trị này được lấy trực tiếp từ ESA qua logfile, do đó độ phân giải của các trục đồ thị phụ thuộc vào thiết bị đo, với hình 5A độ phân giải trục tần số là 2 Hz [14].

Giá trị nhiễu nhiệt N_{th} và nhiễu tổng hợp N_T của thiết bị khi đo riêng lẻ xuất hiện các nhiễu nền khác. Các thiết bị điện tử trong RIN box là nguyên nhân gây ra nhiễu nền. Nhiễu nền này gây ra sự thay đổi với cường độ cố định khi đo nhiễu nhiệt và giá trị cường độ nhiễu nền là tương đối ổn định. Do đó, nhiễu nền này có thể loại bỏ khi trừ hai giá trị nhiễu tổng hợp và nhiễu nhiệt khi tính RIN theo phương trình (7). Tuy nhiên, các giá trị nhiễu có tần số ≈ 245 MHz và các harmonic bậc cao của nó khiến việc đo giá trị nhiễu cường độ laser ở dải thấp (<1 GHz) của hệ gặp khó khăn. Cùng với đó, bộ khuếch đại tín hiệu RF Amp làm việc ở tần số 0,5-40,0 GHz [16], do vậy tín hiệu trong khoảng $<0,5$ GHz không được khuếch đại và ổn định. Việc khắc phục giá trị nhiễu này bằng cách hoàn thiện các thiết bị điện tử có trong hệ thống RIN box là hướng phát triển trong tương lai của chúng tôi. Với dải tần số cao hơn (>1 GHz), giá trị nhiễu tổng hợp và nhiễu nhiệt theo đồ thị hình 5A có thể cho thấy hệ thống hiện tại có thể xác định được RIN ở dải tần số cao hơn (>1 GHz). Để xác định giá trị RIN của nguồn DFB laser theo các mức công suất khác nhau, giá trị nhiễu điện tử cũng được chúng tôi thực nghiệm đo theo các mức công suất này. Giá trị đo điện áp từ DMM và nhiễu điện tử N_u được thể hiện ở hình 5B. Giá trị RIN lớn nhất thu được bởi các công suất toàn dải là -133,2 dB/Hz (hình 6). Giá trị RIN trung bình toàn dải là -143,31 dB/Hz với độ lệch chuẩn là 5,22. Với giá trị RIN tối đa của nguồn FRL15DCWD-A81-19340 DFB laser là trong dải tần số từ 10 MHz đến 10 GHz, từ kết quả thực nghiệm có thể kết luận rằng, nguồn DFB laser trên đảm bảo giá trị RIN mong muốn theo nhà sản xuất.



Hình 6. Kết quả đo RIN dải rộng 1 đến 3,6 GHz ở các công suất 1, 1,5, 2, 2,5 và 3 mW.

Kết luận

Bằng cách sử dụng nguyên lý đo RIN theo phương pháp trừ với các thiết bị đo ESA dải 10 MHz đến 3,6 GHz, 6½ DMM và RIN box, chúng tôi đã trình bày một hệ đo nhiễu laser dải rộng (>1 -40 GHz) có độ nhạy cao, băng thông rộng sử dụng RIN box được kiểm soát nhiệt độ chính xác và bộ phân tích tín hiệu điện ESA để đánh giá nhiễu của nguồn DFB laser bước sóng 1550,12±0,1 nm. Kết quả đo thu được với giá trị trung bình là -143,31 dB/Hz với độ lệch chuẩn 5,22 chứng minh nguồn DFB laser sử dụng vẫn đảm bảo giá trị nhiễu cường độ theo thông số nhà sản xuất cung cấp. Tuy nhiên, trong quá trình thực nghiệm và chế tạo hệ thiết bị, chúng tôi nhận thấy hệ vẫn còn giá trị nhiễu không mong muốn ở tần số ≈ 245 MHz gây khó khăn khi đo nhiễu cường độ ở dải tần số thấp (<1 GHz). Việc khắc phục và loại bỏ giá trị nhiễu này là một trong số những hướng mở rộng và phát triển hệ trong tương lai bên cạnh việc mở rộng dải đo và tăng độ nhạy của hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Hashemi (2012), *Relative Intensity Noise (RIN)*, High-Speed VCSELs for Short Reach Communication.
- [2] https://www.rp-photonics.com/article_noise_in_laser_technology1.html.
- [3] https://www.rp-photonics.com/intensity_noise.html.
- [4] <https://en.sekorm.com/doc/1675557.html>.
- [5] <https://www.agilent.com>, *Agilent Technologies (2000) Annual Report*, Lightwave Signal Analysers Measurement of Relative Intensity Noise, Product Note 71400-1.
- [6] https://www.toptica-eagleyard.com/fileadmin/downloads/documents/eyP_App_Note_RIN_1-6.pdf.
- [7] <https://www.semice.com/file/EOL2/HP-N4371A.pdf>.
- [8] <https://www.tek.com/vn/products/oscilloscopes/dsa8300-sampling-oscilloscope>.
- [9] https://download.tek.com/document/85W_30657_0_HR_Letter.pdf.
- [10] https://www.furukawa.co.jp/fitel/english/active/pdf/signal/ODC-7R002E_FRL15DCWx-A8x-Wxxx-x.pdf.
- [11] <https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=CLD1015#ad-image-0>.
- [12] <https://sphotronics.ru/upload/iblock/6ac/6ac72f2b70ef902cfc3c763ec727eec4.pdf>.
- [13] <https://www.keysight.com/at/de/product/N7752A/2-channel-optical-attenuator-power-meter.html>.
- [14] <https://www.keysight.com/at/de/assets/9018-70012/technical-specifications/9018-70012.pdf>.
- [15] <https://www.keysight.com/at/de/assets/7018-03846/data-sheets/5991-1983.pdf>.
- [16] <https://sftp.ervant.com/content/datasheets/SBB-0524034318-KFKF-E8.pdf>.