

THIẾT KẾ NGUỒN XUNG HẸP DÒNG CAO NUÔI LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT CAO ĐỂ CHIẾU SÁNG CHO HỆ QUAN SÁT ĐÊM THEO NGUYÊN LÝ LASER XUNG CHỦ ĐỘNG

Nguyễn Hồng Hanh*, Phạm Đức Tuấn, Trịnh Việt Hà, Hoàng Anh Đức,
Vũ Quốc Thủy, Tạ Trung Kiên

Tóm tắt: Trong bài báo này trình bày kết quả chế tạo nguồn xung hẹp dòng cao để nuôi laser bán dẫn với xung dòng lên đến 60 A và độ rộng xung là 100 ns, tần số xung đến 3,9 kHz. Nguồn xung dòng trên hoàn toàn đủ lớn để nuôi laser diode công suất cao cho hệ quan sát đêm theo nguyên lý laser xung chủ động để đảm bảo thiết bị có thể quan sát trong điều kiện đêm tối và đặc biệt trong điều kiện đêm tối hoàn toàn.

Từ khóa: Thiết bị nhìn đêm; Laser bán dẫn; Nguồn laser bán dẫn; Xung hẹp; Dòng cao.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, việc sử dụng laser xung hồng ngoại để chiếu sáng cho các thiết bị nhìn đêm ngày càng trở nên phổ biến trong các điều kiện môi trường đặc biệt như đêm tối hoàn toàn [1] hoặc điều kiện thời tiết xấu, mưa tuyết hoặc sương mù [2]. Ngày nay với công nghệ ngày càng phát triển nên có nhiều loại laser công suất cao, đặc biệt là laser bán dẫn đảm bảo khả năng cung cấp năng lượng đủ lớn để chiếu sáng cho hệ thống nhìn đêm [3]. Vì vậy, đòi hỏi phải thiết kế nguồn xung có cường độ xung đủ lớn và độ rộng xung hẹp đáp ứng được laser bán dẫn công suất cao trên.

Trên thế giới có nhiều loại nguồn xung hẹp, dòng lớn để nuôi laser bán dẫn công suất cao [4,5,6]. Tuy nhiên, các nguồn xung đó còn thiết kế công kênh, chưa nhỏ gọn nên khó tích hợp cho thiết bị cầm tay. Yêu cầu của thiết bị cầm tay là cần sử dụng nguồn pin, điện áp thấp. Đặc biệt là thiết bị cầm tay sử dụng nguồn xung laser chủ động thì yêu cầu về độ rộng xung cỡ 100 ns, dòng nuôi laser từ 20 đến 100 A và có tần số trên 1 kHz.

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày thiết kế nguồn xung hẹp cỡ 100 ns, dòng lớn cỡ 60 A, nhỏ gọn đặc biệt phù hợp với các thiết bị cầm tay có sử dụng laser bán dẫn xung ngắn công suất cao được ứng dụng trong thiết bị đo xa cầm tay hoặc thiết bị quan sát đêm theo nguyên lý laser xung chủ động. Điều này rất có ý nghĩa thực tiễn cao và đặc biệt ứng dụng trong lĩnh vực quân sự.

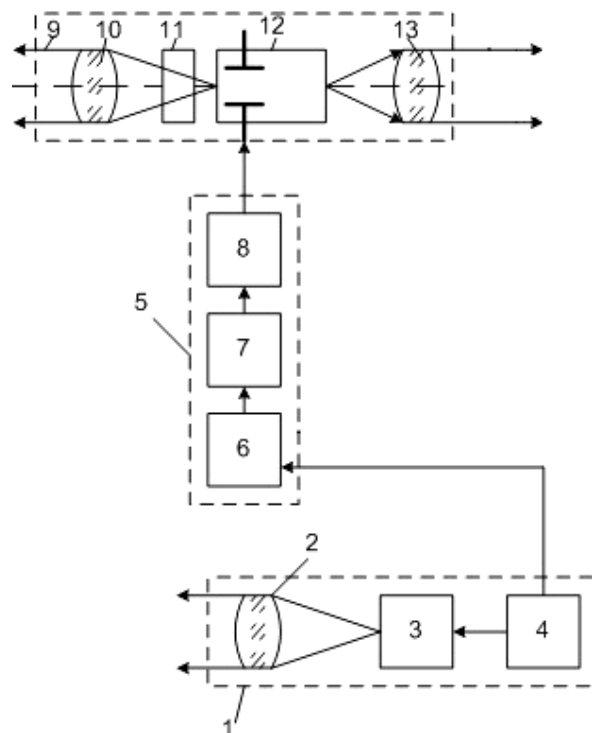
Trong phần đầu của bài báo này, chúng tôi giới thiệu nguyên lý, cấu tạo chung của thiết bị quan sát đêm theo nguyên lý laser xung chủ động. Sau đó tiến hành lựa chọn laser bán dẫn công suất cao cho hệ thống. Từ các thông số của laser bán dẫn công suất cao, chúng tôi đã tiến hành thiết kế chế tạo nguồn nuôi laser bán dẫn công suất cao ở trên.

2. XÂY DỰNG HỆ LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT CAO VÀ KHỐI NGUỒN NUÔI LASER CHO HỆ QUAN SÁT ĐÊM THEO NGUYÊN LÝ LASER XUNG CHỦ ĐỘNG

2.1. Nguyên lý, cấu tạo chung của hệ quan sát đêm theo nguyên lý laser xung chủ động

Thiết bị nhìn đêm trên cơ sở laser xung chủ động dựa trên nền tảng của 2 công nghệ chính [7]: công nghệ chọn xung điều khiển cự ly quan sát (hay còn gọi là công nghệ chọn xung điều khiển thời gian quan sát) và công nghệ chiếu sáng bằng laser xung ngắn và cực ngắn.

Sơ đồ khối cấu tạo của thiết bị quan sát đêm theo nguyên lý laser xung chủ động được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối của thiết bị quan sát theo nguyên lý laser xung chủ động.

Sơ đồ hình 1 gồm các khối cụ thể như sau: 1 - Khối chiếu sáng bằng xung laser; 2 - Hệ quang phát laser; 3 - Laser; 4 - Khối nguồn phát xung nuôi laser; 5 - Khối điều khiển và đồng bộ; 6- Bộ tạo xung; 7 - Bộ điều tiết; 8 - Khối khởi tạo xung cửa gate; 9 - Khối quan sát; 10 -Vật kính; 11- Phin lọc; 12 - Bộ biến đổi quang điện có điều khiển được cửa gate; 13 - Thị kính.

Hoạt động của hệ thống được diễn tả ngắn gọn như sau: Xung laser được phát đi từ khối chiếu sáng (1) với hướng và góc mở được xác định bởi hệ quang phát laser (2) và độ dài xung được điều khiển bởi nguồn (4). Xung ánh sáng tới mục tiêu và phản xạ trở về tới khối quan sát (9), được vật kính (10) tạo ảnh trên bề mặt của photocathode của bộ biến đổi quang điện (BBĐQE) (12). BBĐQE (12) ở trạng thái đóng sẽ chuyển sang trạng thái mở ngay khi xung ánh sáng phản xạ tới và duy trì trạng thái mở trong khoảng thời gian xác định. Việc đồng bộ hoạt động phát xung laser và chuyển trạng thái từ đóng sang mở ở BBĐQE được điều khiển bởi khối điều khiển đồng bộ (5). Khi khối nguồn (4) phát dòng xung để kích hoạt laser (3), tín hiệu được truyền đến bộ tạo xung (6), bộ tạo xung (6) khởi tạo xung đồng bộ và được giữ tại bộ điều tiết (7) khoảng thời gian đúng bằng khoảng thời gian để xung ánh sáng truyền từ thiết bị tới mục tiêu và phản xạ trở lại sau đó bộ khởi tạo xung cửa (8) phát xung chuyển BBĐQE sang trạng thái mở trong khoảng thời gian xác định. Hình ảnh của mục tiêu hiển thị trên màn huỳnh quang của BBĐQE và được quan sát qua thị kính (13).

Với nguyên lý hoạt động như trên, thiết bị quan sát theo nguyên lý laser xung chủ động có một số ưu điểm như sau:

- Hoạt động ở cả 3 chế độ: thụ động, chủ động liên tục và xung chủ động;
- Tuy hoạt động theo chế độ chủ động song vẫn đảm bảo được yếu tố an toàn bí mật do chế độ chiếu sáng theo xung;
- Hoạt động cả ngày đêm;

- Nâng cao được độ tương phản của ảnh quan sát nhờ việc chỉ quan sát ở một lớp không gian nhất định và đóng mở BBDQĐ một cách có kiểm soát nên ngăn chặn được những ánh sáng tán xạ trở lại thiết bị khi chiếu sáng.

2.2. Lựa chọn laser bán dẫn công suất cao

Trên sơ đồ về hệ thiết bị nhìn đêm theo nguyên lý laser xung chủ động đã được trình bày trong mục 2.1, trong hệ trên cần phải sử dụng laser bán dẫn công suất cao phát dạng xung ngắn cỡ trăm nano giây và sử dụng laser bán dẫn dạng mảng hoặc ma trận. Với các laser bán dẫn xung này ngoài chức năng chiếu sáng đối tượng còn có khả năng xác định được khoảng cách đến đối tượng quan sát [8]. Các thông số cơ bản của các laser bán dẫn công suất cao mà trên thế giới hay sử dụng như sau:

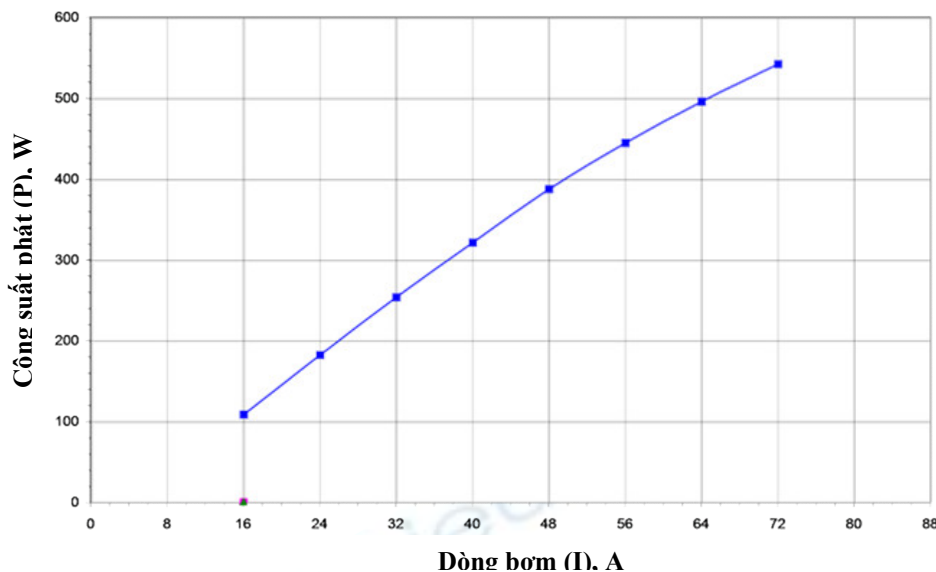
Bảng 1. Các thông số chính của laser bán dẫn dùng trong chiếu sáng xung cho các thiết bị nhìn đêm [8].

Công ty	Loại	λ , nm	P_{max} , W	f, kHz	τ , ns	I_{max} , A	θ , độ
Viện nghiên cứu "Polyus" (Nga)	IDLP50M-810	800-820	50	10	100	22	25x10
	IDLP100M-810	800-820	100	10	100	40	25x10
	IDLP200M-810	800-820	200	5	100	40	25x10
	IDLP500M-810	800-820	500	5	100	60	25x10
	ILPI-135A	840-870	140	10	100	50	25x10
	ILPI-137A	840-880	600	3-5	100	85	30x12
	IDLP50M-905	900-905	50	10	100	22	40x12
	IDLP100M-905	900-905	100	10	100	40	40x12
	IDLP200M-905	900-905	200	5	100	40	40x12
	IDLP500M-905	900-905	500	5	100	60	40x12
ITT (Mỹ)	LDT-350	904	300	5	200	40	20
	LDT-391	904	300	5	200	40	20

Trong bảng 1, λ là bước sóng phát của laser bán dẫn, ở bảng trên thì laser bán dẫn có bước sóng trong khoảng từ 800 nm đến 900 nm. P_{max} là công suất của đỉnh xung phát laser (công suất phát trong khoảng 50 W đến 600 W). f là tần số phát cho laser bán dẫn (thông thường ở trong khoảng 3 kHz đến 5 kHz). τ là độ rộng xung của laser (thông thường ở trong khoảng 100 ns đến 200 ns). I_{max} là dòng xung tối đa có thể cấp cho laser bán dẫn (trong khoảng 22 A đến 85 A). θ là góc phát của laser theo hai chiều song song và vuông góc với chuyên tiếp p-n trong chip bán dẫn (thông thường là góc phát theo hai chiều này là khác nhau).

Qua phân tích ở bảng 1 ở trên, chúng tôi đã lựa chọn và mua được laser bán dẫn công suất cao của ILPI-137A của Viện nghiên cứu Polyus (Nga) với các thông số: Bước sóng laser trong khoảng $\lambda = 840 \div 880$ nm, độ rộng xung $\tau = 100$ ns, góc phát $\theta = 30^\circ \times 12^\circ$, tần số phát $f = 3 \div 5$ kHz. Với đường đặc trưng công suất phát phụ thuộc vào dòng bơm được thể hiện trên hình 2.

Trên hình 2, dòng cấp cho laser hoạt động tối thiểu là $I = 16$ A, công suất phát $P = 100$ W. Thông thường laser bán dẫn hoạt động với dòng cấp $I = 64$ A thì công suất phát của laser $P = 500$ W.



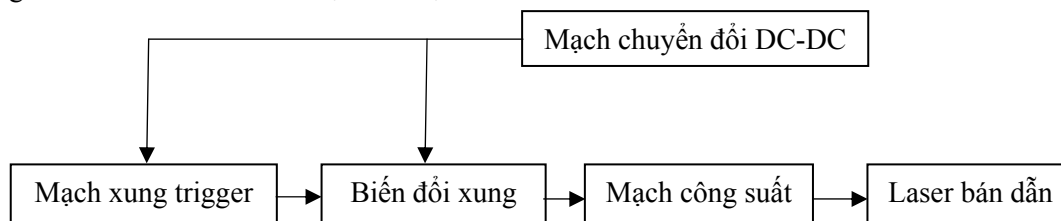
Hình 2. Đặc trưng công suất laser bán dẫn phụ thuộc vào dòng bơm.

2.3. Thiết kế khối nguồn công suất cao để nuôi laser bán dẫn

2.3.1. Cơ sở thiết kế

Trên cơ sở sử dụng laser bán dẫn công suất cao ILPI-137A với yêu cầu xung laser có độ rộng $\tau = 100$ ns, cường độ dòng nuôi laser $I \geq 60$ A, tần số phát xung $f \geq 1$ kHz.

Để thiết kế mạch nguồn xung ngắn (với độ rộng xung khoảng trăm nano giây), dòng cao (trên 60 A) để nuôi laser bán dẫn thì yêu cầu gồm các mạch sau: Mạch xung trigger, mạch biến đổi xung, mạch công suất, mạch chuyển đổi DC-DC. Sơ đồ khối của mạch nguồn nuôi laser bán dẫn được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối của mạch nguồn nuôi laser bán dẫn.

Trên hình 3, mạch xung trigger sinh ra tín hiệu xung vuông với tần số có thể thay đổi được. Mạch biến đổi xung có tác dụng biến đổi xung vuông từ xung trigger đầu vào thành xung vuông có độ rộng xung rất hẹp (cỡ trăm nano giây). Mạch công suất có tác dụng tạo xung hẹp dòng cao, điện áp phù hợp để nuôi cho laser bán dẫn (laser bán dẫn phát sáng). Hiển nhiên là, tần số của xung dòng nuôi laser bán dẫn phụ thuộc vào mạch xung trigger, độ rộng của xung dòng được điều khiển bởi mạch biến đổi xung và cường độ dòng xung được điều chỉnh bởi mạch công suất. Mạch chuyển đổi một chiều DC-DC cung cấp dòng, điện áp cần thiết cho các mạch ở trên.

Với những yêu cầu ở trên, chúng ta cần phải lựa chọn những linh kiện cho phần công suất có thể chịu được dòng lớn, tốc độ cao. Bên cạnh đó, mạch phải có cơ chế đáp ứng được hoạt động ở tần số cao cỡ hàng kHz. Thông thường trong trường hợp này là các loại như MOSFET, Thyristor, IGBT,... sẽ được chọn để sử dụng trong phần công suất để đảm bảo được các điều kiện trên. Qua khảo sát các linh kiện sẵn có, chúng tôi đã chọn và sử

dùng Thyristor GA103A (UPGA 103A) với những thông số kỹ thuật rất phù hợp để thực hiện nguồn phát xung cho laser để có thể ứng dụng trong thiết bị cầm tay.

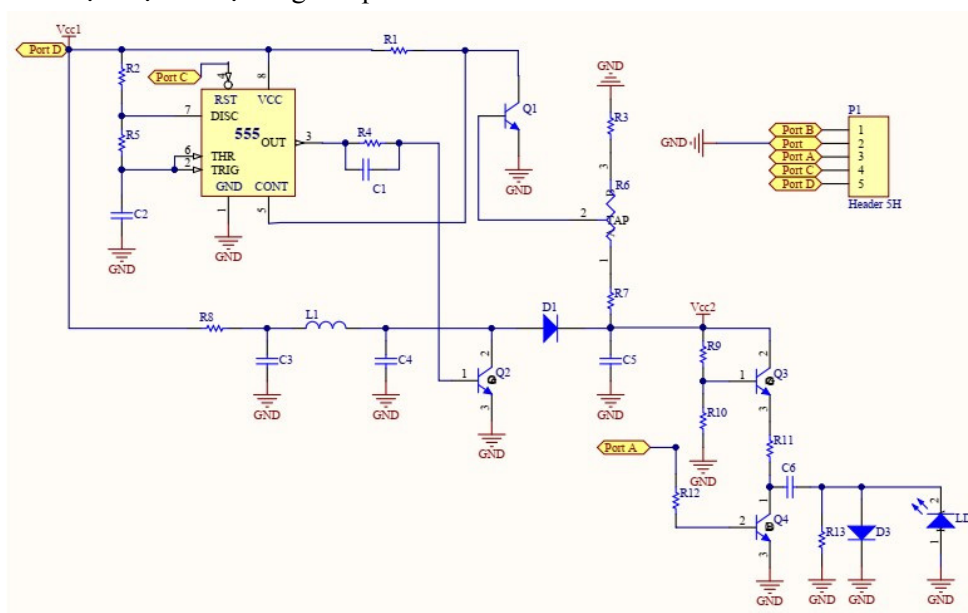
Bảng 2. Các thông số kỹ thuật của UPGA 103A [9].

Tham số	Ký hiệu	Điều kiện	Thông thường	Cao nhất	Đơn vị
Điện áp ở trạng thái mở	V_T	$I_T = 1 \text{ A}$, $I_g = 10 \text{ mA}$	1,1	1,5	V
Điện áp Gate Trigger	V_{GT}	$V_D = 5 \text{ V}$, $R_{GS} = 100 \Omega$	0,5	0,75	V
Dòng Gate Trigger	I_{GT}	$V_D = 5 \text{ V}$, $R_{GS} = 10 \text{ k}\Omega$	10	200	μA
Thời gian xung trễ	td	$I_T = 1 \text{ A}$, $I_g = 20 \text{ mA}$	20	30	ns
Thời gian xung tăng	tr	$V_D = 60 \text{ V}$, $I_T = 1 \text{ A}$, $I_g = 10 \text{ mA}$, dc < 1%	15	25	ns
Độ rộng xung Gate Trigger ở trạng thái “on”	tpg(on)	$I_T = 1 \text{ A}$, $I_g = 10 \text{ mA}$	20	50	ns

2.3.2. Thiết kế mạch nguồn nuôi laser bán dẫn

Trên cơ sở sơ đồ khối mạch nguồn nuôi laser bán dẫn ở hình 3 và với mục tiêu thiết kế mạch nguồn xung nuôi laser bán dẫn với độ rộng xung cỡ trăm nano giây và đặc biệt là dòng nuôi laser phải lớn cỡ trên 60 A nên chúng tôi đã thiết kế mạch DC-DC Boost với tạo ra mức chênh lệch điện áp giữa V_{cc1} và V_{cc2} như hình 4.

Trên hình 4, V_{cc1} là điện áp được cấp từ nguồn pin có giá trị từ 5 đến 15 V. Khối DC-DC được thực hiện bởi IC NE555, cuộn cảm L_1 , tụ C_3, C_4 , transistor Q_2, Q_1 để tạo điện áp V_{cc2} cho khối công suất. Khối công suất gồm mạch điện Q_3, R_9, R_8 để nạp cho tụ C_6 . Transistor Q_4 thực hiện tạo xung ngắn 100 ns và dòng cỡ 60 A được điều khiển theo xung trigger từ mạch đồng bộ vào nguồn qua cổng Port A (trên hình 4). Điện trở R_{13} và diode D_3 làm nhiệm vụ bảo vệ dòng và áp cho laser diode bán dẫn LD.

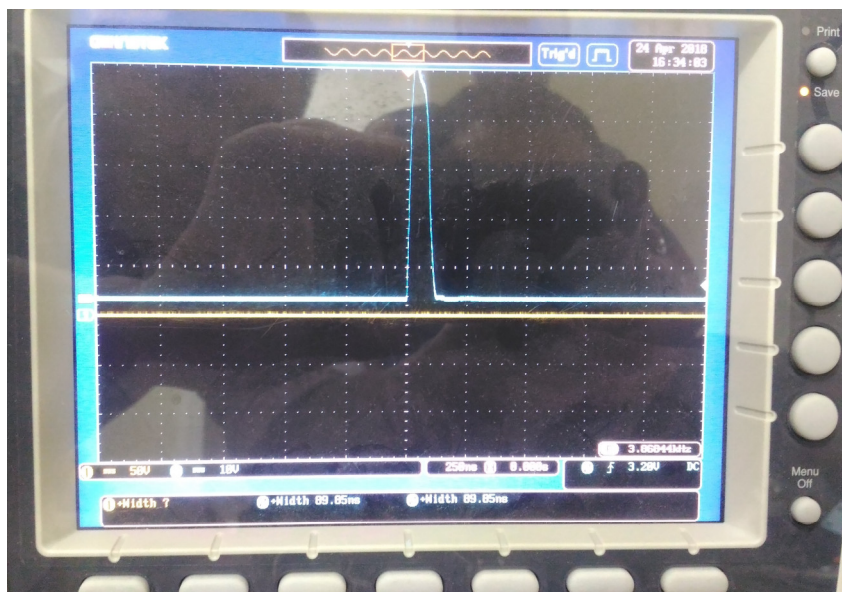


Hình 4. Mạch sử dụng nuôi laser bán dẫn.

3. CÁC KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC

3.1. Kết quả chế tạo nguồn xung

Trên cơ sở mạch nguyên lý hình 4, chúng tôi đã thiết kế mạch in và hoàn chỉnh khối mạch nguồn để nuôi laser diode bán dẫn VLKT-LD-01. Sử dụng osillo Instek GDS-3502, chúng tôi thu được xung vuông nuôi laser bán dẫn như trên hình 5. Xung vuông laser thu được có độ rộng xung $\tau = 100$ ns, tần số xung $f = 3,9$ kHz, cường độ xung $I = 60$ A.



Hình 5. Hình ảnh xung laser bán dẫn thu được.

Mạch nguồn xung nuôi laser diode bán dẫn VLKT-LD-01 ở trên khi sử dụng tải giả tương đương với laser diode có thể cho xung dòng lên đến 80 A và tần số có thể tăng đến 5 kHz nhưng để đảm bảo an toàn cho laser bán dẫn hoạt động không quá nóng và để laser hoạt động ổn định trong hệ quan sát đêm nên chúng tôi giới hạn chỉ để xung dòng laser 60 A và tần số phát là 3,9 kHz.

Chúng ta thử so sánh với nguồn xung nuôi laser mà đã được sản xuất sẵn có trên thế giới. Cụ thể, ở đây là nguồn xung Pulsed Laser Diode Driver LSP-40 [10] của hãng Laser Components (Mỹ). Bảng 3 thể hiện kết quả so sánh các thông số chính của nguồn xung tự chế tạo VLKT-LD-01 so với nguồn xung LSP-40.

Bảng 3. So sánh các thông số kỹ thuật chính giữa hai nguồn xung.

Thông số kỹ thuật	VLKT-LD-01	LSP-40 [10]
Cường độ dòng xung nuôi laser (I)	60 ÷ 80 A	40 A
Độ rộng xung nuôi laser (τ)	100 ns	30 ÷ 150 ns
Tần số xung (f)	3,9 ÷ 5 kHz	10 kHz
Điện áp nguồn cấp (V)	+16 VDC	+12 VDC

Từ bảng 3 chúng ta nhận thấy, nguồn xung VLKT-LD-01 do chúng tôi chế tạo có dòng xung nuôi laser diode lớn cỡ 60 đến 80 A là cao hơn rất nhiều so với nguồn xung LSP-40 của hãng Laser Components (Mỹ) chỉ là 40 A. Trong khi đó, độ rộng xung và tần số xung cấp cho laser VLKT-LD-01 (tương ứng lần lượt là 100 ns và 3,9 kHz) là thấp hơn so với nguồn xung LSP-40 (tương ứng lần lượt là đến 150 ns và 10 kHz). Tuy nhiên, với laser bán dẫn công suất cao ILPI-137A mà chúng tôi đã lựa chọn ở trên thì độ rộng xung

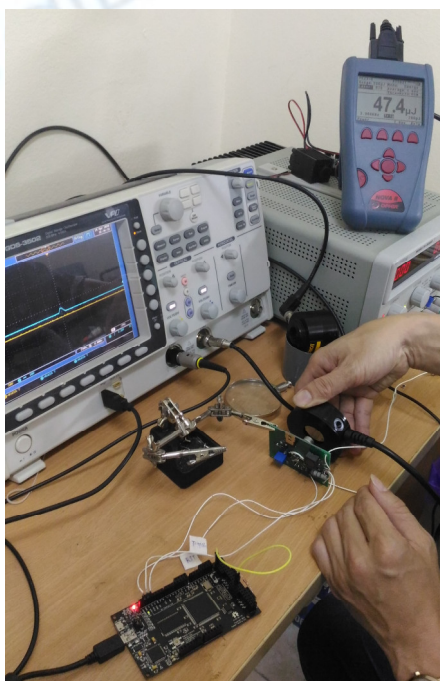
nuôi chỉ là 100 ns. Mặt khác, khi càng tăng tần số phát cho laser bán dẫn thì laser bán dẫn lại càng nóng lên và laser sẽ hoạt động kém ổn định, thậm chí nếu sử dụng tần số quá cao trong một thời gian dài có thể gây cháy laser bán dẫn. Do đó, việc sử dụng nguồn xung VLKT-LD-01 có độ rộng xung là 100 ns và tần số xung 3,9 kHz là phù hợp cho laser bán dẫn ILPI-137A hoạt động ổn định trong khoảng thời gian dài. Mặt khác, giá thành của nguồn xung LSP-40 là khá cao (cỡ vài ngàn USD) nên việc chế tạo thành công nguồn xung nuôi laser bán dẫn VLKT-LD-01 là vô cùng hợp lý.

3.2. Kết quả đo công suất laser

Sử dụng đầu đo công suất Nova II Ophir để đo công suất laser bán dẫn phát ra khi sử dụng nguồn nuôi laser bán dẫn ở hình 4. Hệ đo được thể hiện trên hình 6. Từ hình 6 chúng ta đo được năng lượng của xung laser phát ra $E = 47,4 \mu\text{J}$. Trong khi đó độ rộng của xung laser phát ra $\tau = 100 \text{ ns}$. Khi đó, công suất đỉnh xung laser phát ra là:

$$P = \frac{E}{\tau} = \frac{47,4 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-9}} = 474 \text{ W}$$

Công suất trên hoàn toàn phù hợp cho hệ quan sát đêm theo nguyên lý laser xung chủ động.



Hình 6. Hình ảnh xung laser bán dẫn thu được.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này chúng tôi đã chế tạo thành công nguồn nuôi laser bán dẫn VLKT-LD-01 với cường độ dòng xung lớn (trên 60 A) và độ rộng xung hẹp (cỡ trăm nano giây). Qua thử nghiệm nguồn nuôi laser bán dẫn hoạt động ổn định, công suất đỉnh xung laser bán dẫn phát ra khoảng 474 W đáp ứng được yêu cầu chiếu sáng trong hệ quan sát đêm theo nguyên lý laser xung chủ động. Mạch nguồn xung nuôi laser VLKT-LD-01 khi sử dụng tải giả tương đương với laser có thể cho xung dòng lên đến 80 A và tần số có thể tăng đến 5 kHz nhưng để đảm bảo an toàn cho laser bán dẫn hoạt động không quá nóng và để laser hoạt động ổn định trong hệ quan sát đêm nên chúng tôi giới hạn chỉ để xung dòng