NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN MÁY PHÁT SIÊU CAO TẦN SỬ DỤNG ĐÈN SÓNG CHẠY

Lương Văn Trình[1*], Trần Ngọc Sáng[2]

Tóm tắt: *Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu cải tiến máy phát siêu cao tần công suất lớn sử dụng đèn sóng chạy, bằng linh kiện tích hợp và các bán dẫn khuếch đại công suất siêu cao tần. Tiến hành thử nghiệm thực tế để đánh giá khả năng làm việc, độ ổn định và đồng bộ hệ thống.*

Từ khóa: Siêu cao tần; Đèn sóng chạy; Khuếch đại công suất.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các đài ra đa với máy phát siêu cao tần sử dụng đèn sóng chạy, để khuếch đại công suất các tín hiệu bức xạ băng tần X với công suất xung cực đại đến 4,5 kW, cho phép điều chỉnh mức suy giảm đặt mức công suất phát của đài. Để đảm bảo hoạt động cho các đèn sóng chạy, phải cung cấp nguồn cao áp +3,5 kV; +8,6 kV và -9,6 kV [1, 2]. Các nguồn cao áp này được nắn từ nguồn biến thế 3 pha, dẫn đến phát nhiệt rất lớn và đánh lửa cao áp, trong quá trình hoạt động phát sinh nhiều hỏng hóc, nhất là phần cao áp. Việc nghiên cứu cải tiến máy phát siêu cao tần sử dụng đèn sóng chạy trên cơ sở các bộ khuếch đại bán dẫn công suất lớn và linh kiện tích hợp có ý nghĩa khoa học, đáp ứng nhu cầu thực tiễn trong công tác bảo đảm kỹ thuật cho trang bị.

2. HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY PHÁT SỬ DỤNG ĐÈN SÓNG CHẠY

Nghiên cứu hoạt động của máy phát đài ra đa sử dụng đèn sóng chạy làm việc ở băng tần X như sau, các tín hiệu đầu vào gồm tín hiệu cao tần điều chế xung với độ rộng τ_x = (0,3 ÷ 820) μs, hoặc điều pha manip 13 phần tử, hoặc giả ngẫu nhiên với độ rỗng xung lớn hơn 6,5 được hình thành trên 12 tần số trong dải tần (9,25 ÷ 9,45) GHz với công suất (3÷10) mW. Đồng thời, nhận được xung kích vượt trước AM2 để tạo xung kích và đồng bộ toàn đài [1, 2].

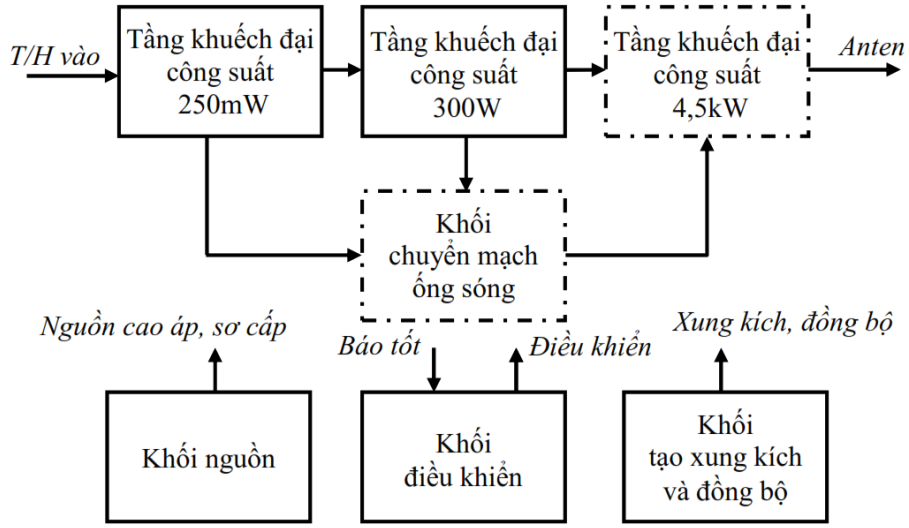
Để đảm bảo công suất phát cực đại đến đến 4,5 kW, tuyến khuếch đại bao gồm tầng khuếch đại công suất 250 mW, tầng khuếch đại công suất 300 W, tầng khuếch đại công suất 4,5 kW.

Máy phát cho phép thay đổi mức công suất phát bằng hệ thống chuyển mạch ống dẫn sóng với các mức suy giảm khác nhau và tải hấp thụ. Thay đổi công suất phát được thực hiện theo các tín hiệu điều khiển: suy giảm 0 dB (tương đương công suất phát 4,5 kW), 10 dB (160 W), 20 dB (16 W), 30 dB (1,6 W), 40 dB (140 mW), 50 dB (14 mW), 60 dB (1,4 mW).

Các chế độ suy giảm khác nhau được thực hiện bằng thay đổi các vị trí chuyển mạch ống dẫn sóng và số tầng khuếch đại. Trong chế độ suy giảm 0 dB, tín hiệu cao tần điều chế xung từ đầu vào được khuếch đại bằng ba tầng khuếch đại công suất 250 mW, 300 W và 4,5 kW, qua bộ ghép định hướng đưa ra trên mặt bích của khối máy tới hệ thống anten - fider để bức xạ ra không gian. Chế độ suy giảm 10 dB, 20 dB và 30 dB, tín hiệu cao tần được khuếch đại qua hai tầng khuếch đại công suất 250 mW và 300 W, tầng khuếch đại công suất 4,5 kW trong chế độ dẫn. Chế độ suy giảm 40 dB, 50 dB và 60 dB, tín hiệu siêu cao tần được khuếch đại bằng tầng khuếch đại công suất 250 mW, qua chuyển mạch ống dẫn sóng đưa tới tầng khuếch đại 4,5 kW trong chế độ dẫn và ra anten.

Để điều khiển và đảm bảo máy phát hoạt động đồng bộ, có các khối điều khiển, khối tạo xung kích và đồng bộ toàn đài. Kiểm tra khả năng làm việc của máy phát được thực hiện theo tín hiệu báo tốt. Tín hiệu báo tốt máy phát được tổng hợp từ các tín hiệu báo tốt khối tạo tín hiệu phát "f_1",... "f_{12}", tín hiệu báo tốt điều kiện làm việc "Nhiệt độ tiêu chuẩn", "chất lỏng tiêu chuẩn", "Tốt vào", "Tốt ra"; tín hiệu sự cố "Đánh thủng СВЧ", "Ngắt СВЧ" của các tầng khuếch đại.

Nguồn cao áp +3,5 kV; +8,6 kV; -9,6 kV và các nguồn sơ cấp được nắn từ nguồn 3 pha ~220 V/400 Hz.



Hình 1. *Sơ đồ chức năng máy phát (Khối nét đứt giữ nguyên).*

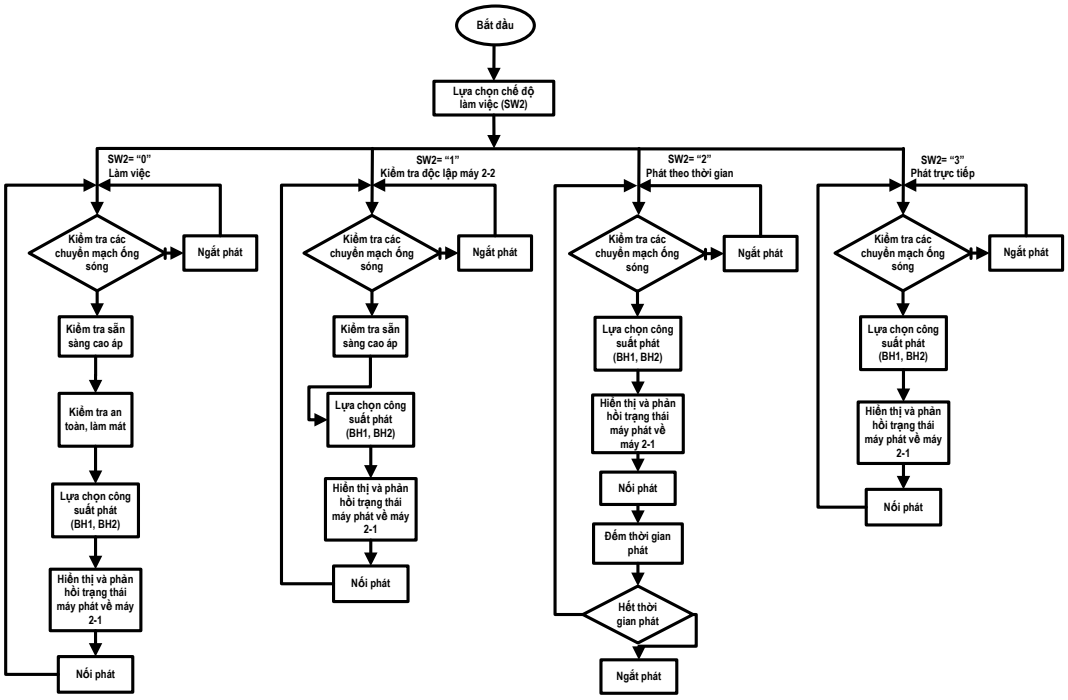
Trên cơ sở nghiên cứu hoạt động của máy phát siêu cao tần băng tần X sử dụng đèn sóng chạy, yêu cầu với công xuất xung cực đại đến 4,5 kW, chế độ phát xung với độ rộng xung đến 820 μs và chế độ giả ngẫu nhiên với độ rỗng xung lớn hơn 6,5. Bài báo trình bày giải pháp cải tiến máy phát trên cơ sở các bộ khuếch đại bán dẫn siêu cao tần công suất lớn và linh kiện tích hợp. Tuy nhiên, vẫn giữ nguyên tầng khuếch đại công suất 4,5 kW trên đèn sóng chạy và khối chuyển mạch ống dẫn sóng, do hiện nay chưa có linh kiện đảm bảo để thay thế tương đương.

3. NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN MÁY PHÁT

Trên cơ sở nghiên cứu cấu trúc, chức năng, đo đạc các tham số kỹ thuật và khảo sát hoạt động các khối máy của máy phát, thực hiện thiết kế ngược để cải tiến từng khối máy độc lập.

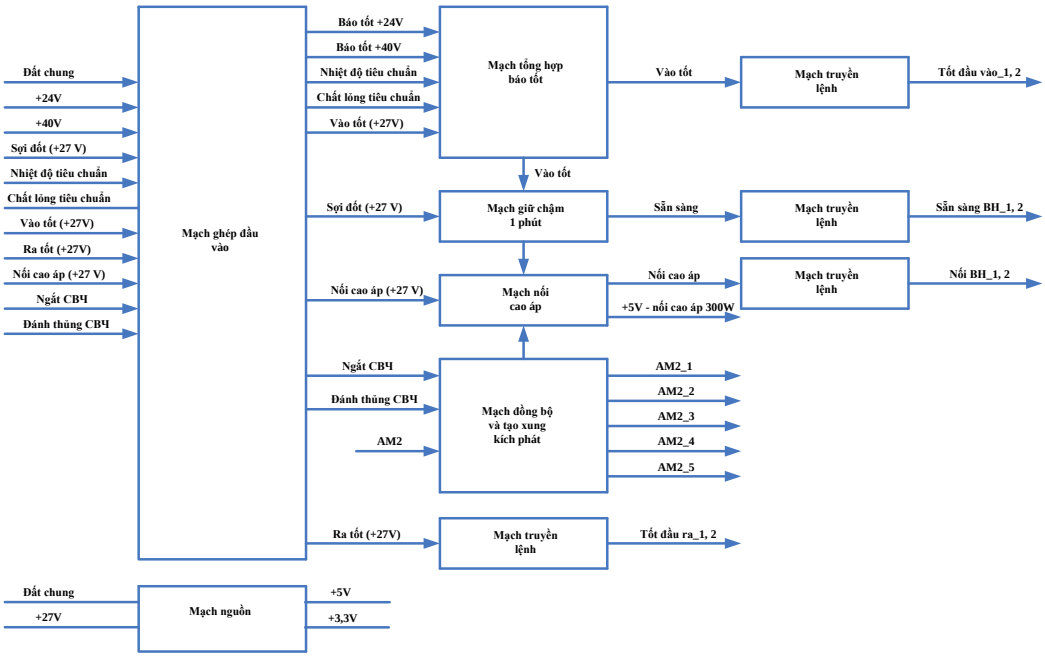
Khối điều khiển dùng để điều khiển và kiểm tra khả năng làm việc của máy phát, biến đổi các tín hiệu đầu vào là các lệnh điều khiển: “Cao áp 1”, “Cao áp 2”, “Anten/Tải”, “Suy giảm 1P”, “Suy giảm 2P”, “Suy giảm 3P” thành tín hiệu điều khiển khối chuyển mạch ống sóng để điều chỉnh mức công suất phát, đóng rơle cao áp và cấp sợi đốt cho từng tầng khuếch đại. Cho phép điều khiển mức công suất phát, bằng công tắc trên mặt khối 2-2-1 khi đặt ở chế độ điều khiển tại chỗ. Ngắt các tầng khuếch đại công suất khi không có tín hiệu kiểm tra vị trí chuyển mạch ống sóng và tín hiệu “Báo tốt”. Hình thành tín hiệu kiểm tra cấp cho hệ thống điều khiển và xử lý dưới dạng ba chuỗi mã nhị phân “Suy giảm 1P.K”, “Suy giảm 2P.K”, “Suy giảm 3P. K” để báo hiệu vị trí ống sóng tương ứng với mức suy giảm công suất phát. Tổng hợp tín hiệu “Nhiệt độ tiêu chuẩn”, “Chất lỏng tiêu chuẩn”, “Báo tốt máy phát”, “Sẵn sàng mở cao áp”, “Mở cao áp”, cho các khối chức năng trong máy phát. Hiển thị dấu hiệu mở cao áp và sự hoàn hảo của khối máy [1, 3].

Tham số kỹ thuật cơ bản của khối 2-2-1 gồm điện áp tín hiệu điều khiển đầu vào +27 V, điện áp tín hiệu kiểm tra đầu ra +12 V. Khối được thiết kế từ các khối chức năng sau: hình thành tín hiệu đầu vào thực hiện trên triger Smit, khối giải mã sử dụng điốt, bộ chuyển mạch tín hiệu logic, bộ biến đổi tín hiệu mức logic TTL - CMOS, bộ biến đổi điện áp điều khiển đầu ra +27 V, công tắc điều khiển bằng tay trên mặt khối, các đèn hiển thị chỉ thị trạng thái làm việc. Khối điều khiển cải tiến được thiết trên cơ sở linh kiện bán dẫn và vi mạch tích hợp lập trình cho phép đưa vào nhiều chương trình tiện ích, có thể điều khiển máy phát làm việc độc lập không cần hệ thống máy tính điều khiển của đài, giúp việc kiểm tra đánh giá, sửa chữa máy phát một cách độc lập. Hình 2 mô tả Lưu đồ thuật toán điều khiển và giám sát máy phát [2, 4].

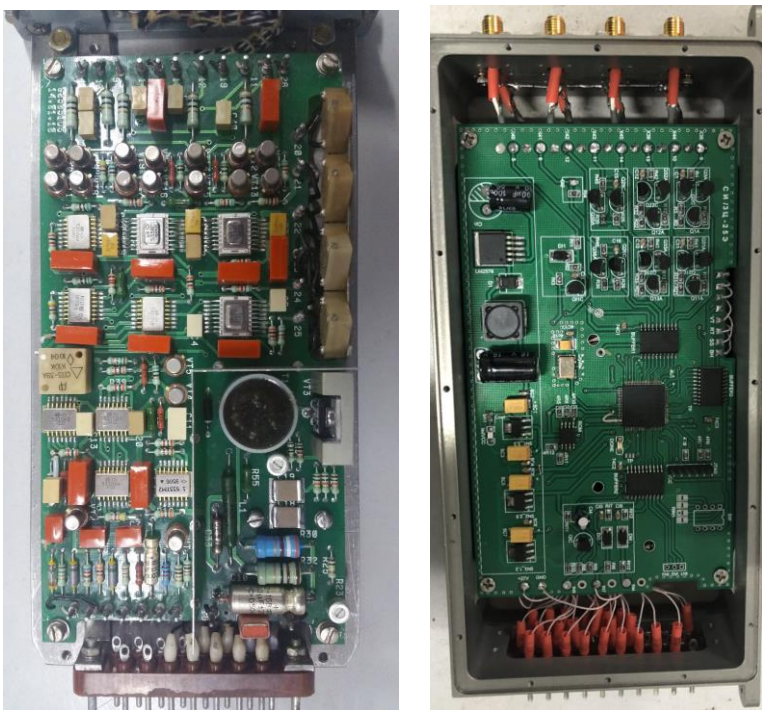


Hình 2. *Lưu đồ thuật toán của khối điều khiển cải tiến.*

Khối tạo xung kích và đồng bộ có công dụng kiểm tra các điều kiện đảm bảo cần thiết cho làm việc của máy phát như điện áp sợi đốt, điện áp cao áp, hệ thống làm mát và các điều kiện đảm bảo khác. Tạo các xung kích đồng bộ cho các tầng khuếch đại công suất. Đưa ra lệnh ngắt phát khi có sự cố hoặc điều kiện an toàn không đảm bảo. Khối tạo xung kích và đồng bộ cải tiến được thiết kế trên cơ sở linh kiện bán dẫn và vi mạch tích hợp cho phép lập trình. Trên hình 3 mô tả sơ đồ chức năng khối xung kích và đồng bộ cải tiến.

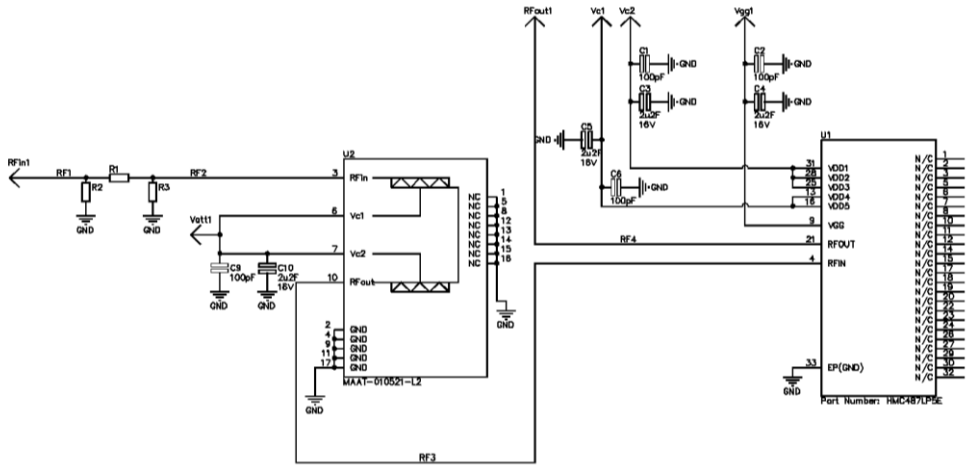


Hình 3. *Sơ đồ chức năng khối tạo xung kích và đồng bộ.*



Hình 4. *Khối tạo xung kích và đồng bộ trước, sau khi cải tiến.*

Tầng khuếch đại 250 mW dùng để khuếch đại tín hiệu siêu cao tần trong dải từ (9,25 ÷ 9,45) GHz với công suất đầu vào từ (3 ÷ 10) mW, công suất xung đầu ra không nhỏ hơn 250 mW, độ sâu hiệu chỉnh công suất xung đầu ra đến 12 dB, chế áp tín hiệu trên đầu ra trong khoảng cách giữa các xung phát không nhỏ hơn 30 dB.



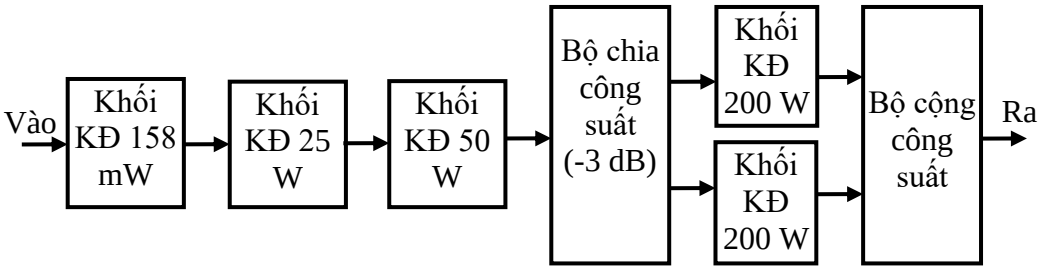
Hình 5. *Sơ đồ nguyên lý tầng khuếch đại công suất 250 mW cải tiến.*

Tầng khuếch đại 250 mW cải tiến có sơ đồ nguyên lý mô tả trên hình 5. Tầng suy giảm đầu vào lựa chọn linh kiện MAAT-010521 của hãng MACOM với dải tần làm việc (5,8÷12) GHz, hệ số suy giảm đến 30 dB, chịu được công suất đầu vào đến 30 dBm, điện áp điều khiển (+1÷- 6) V. Tầng khuếch đại sử dụng linh kiện HMC487LP5E của hãng Hittite Microwave với dải tần làm việc (9÷12) GHz, hệ số khuếch đại đến 20 dB, công suất đầu ra đến 36 dBm [5]. Khối Y128M được chế tạo, thử nghiệm trong phòng thí nghiệm đáp ứng yêu cầu kỹ thuật đặt ra.

Tầng khuếch đại công suất 300 W dùng để khuếch đại công suất tín hiệu siêu cao tần điều chế xung, với yêu cầu tham số kỹ thuật:

TT	Tham số	Đơn vị	Giá trị
1	Dải tần số làm việc	GHz	9,25÷9,45
2	Công suất đầu vào	mW	120÷200
3	Chuẩn kết nối cao tần vào - ra		SMA
4	Trở kháng vào - ra	Ω	50
5	Công suất đầu ra	W	≥ 300
6	Hệ số lấp đầy	%	≤10
7	Điện áp nguồn	V	+40

Tầng khuếch đại công suất 300 W cải tiến có cấu trúc mô tả trên hình 6, được thiết kế trên cơ sở transistor của hãng Sumitomo cho khối khuếch đại công suất cuối. Transistor SGC8598-200A-R cho phép công suất bão hòa 200 W (tức 53 dBm) tối đa ở băng tần X. Như vậy, khối khuếch đại cuối đảm bảo công suất đầu ra 300 W gồm 02 mô đun 200 W, bộ chia công suất đầu vào và bộ cộng công suất đầu ra. Mỗi mô đun 200 W có hệ số khuếch đại 15 dB, yêu cầu công suất đầu vào đạt 38 dBm, tính thêm bộ chia 2 (tức -3 dB) và suy hao -0,5 dB thì công suất đầu vào mô đun 200 W phải đạt 42 dBm [7]. Để đảm bảo mức công suất đầu vào này, cần thêm các khối khuếch đại trung gian. Khối khuếch đại trung gian đạt công suất bão hòa 50 W (47 dBm) sử dụng linh kiện CHGV96050F2 của hãng Cree. Khối công suất 50 W có hệ số khuếch đại 10 dB, như vậy, công suất đầu vào cần 33 dBm. Để đảm bảo mức công suất đầu vào cho khối 50 W, sử dụng linh kiện CMPA601C025F của hãng Cree, đạt công suất bão hòa 25 W (43 dBm). Khối công suất 25 W có hệ số khuếch đại rất lớn, có thể khuếch đại tín hiệu nhỏ lên mức 33 dBm. Tuy nhiên, để dễ dàng hiệu chỉnh, lắp thêm khối khuếch đại 158 mW cho phép tinh chỉnh mức công suất đầu vào cho các khối khuếch đại sau. Khối khuếch đại công suất 25 W sử dụng linh kiện HMC996LP4E của hãng Hittite [6].



Hình 6. *Sơ đồ chức năng tầng khuếch đại công suất 300 W cải tiến.*

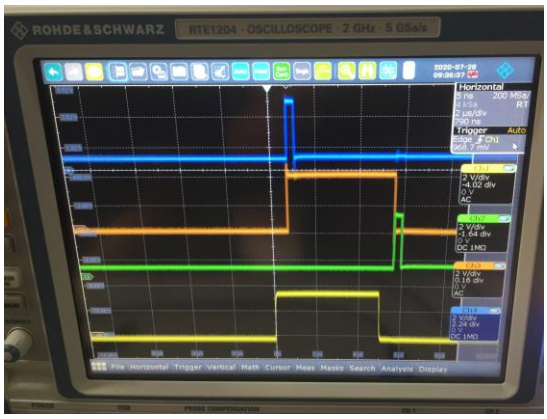
Để đảm bảo an toàn cho các tầng khuếch đại, sử dụng phương pháp điều chế nguồn ở cổng drain của transistor công suất khi nguồn cung cấp ở cổng gate là nguồn liên tục. Nguồn được điều chế theo xung kích phát (xung phát xạ của đài ra đa), các tầng khuếch đại không được cấp nguồn giữa các lần phát xạ.

Các tầng khuếch đại công suất được tích hợp các bộ trích xuất tín hiệu vào - ra để cảm biến mức công suất. Tầng khuếch đại công suất chỉ làm việc khi đủ điều kiện và đủ công suất đầu vào, báo tốt cho khối điều khiển. Để đảm bảo hoạt động đồng bộ của máy phát cũng như toàn đài, tất cả tín hiệu điều khiển, báo tốt, cảm biến được chuẩn hóa theo mức.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Sau khi chế tạo các khối chức năng của máy phát, tiến hành đo kiểm đánh giá chức năng làm việc và các tham số kỹ thuật trong phòng thí nghiệm. Tiến hành kiểm tra với các tham số: tần số phát f_p = 9,3 GHz, công suất vào P_v = 5 mW, chế độ phát xung, độ rộng xung phát τ_x = 5 μs. Kết

quả kiểm tra, các khối của máy phát hoạt động đúng chức năng và đáp ứng yêu cầu tham số kỹ thuật đặt ra.

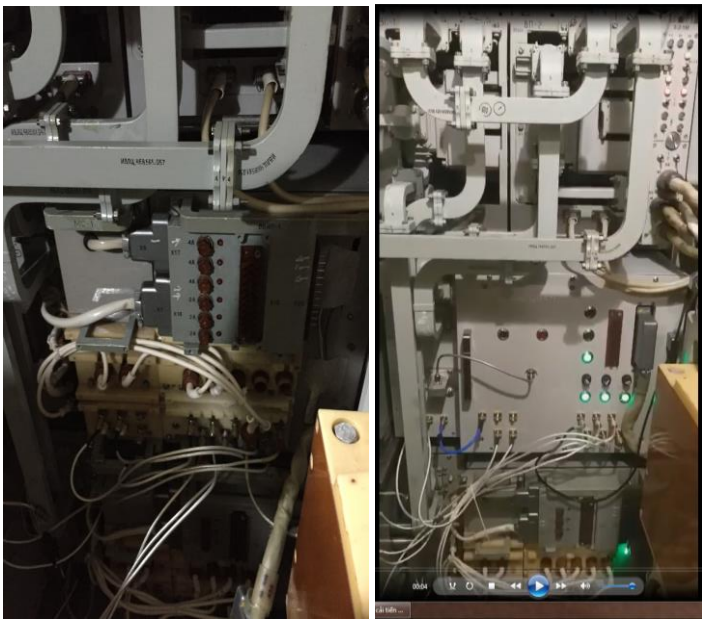


Hình 7. *Kiểm tra xung kích và đồng bộ.*

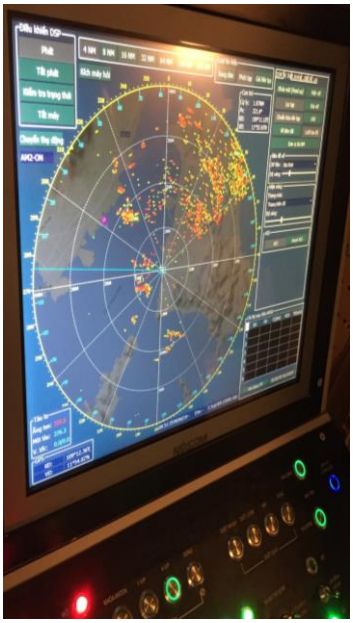


Hình 8. *Kiểm tra công suất và phổ đầu ra.*

Tích hợp các khối chức năng và đồng bộ máy phát, đồng bộ máy phát với toàn đài. Tiến hành thử nghiệm thực tế máy phát cải tiến khi tích hợp với đài ra đa.



Hình 9. *Máy phát trước và cải tiến.*



Hình 10. *Đài ra đa làm việc với máy phát cải tiến.*

Đài ra đa với máy phát cải tiến hoạt động đồng bộ, đảm bảo đáp ứng đầy đủ các chức năng hoạt động; các chế độ phát xung, điều pha manip, giả ngẫu nhiên; mức công suất phát tương ứng với các mức suy giảm từ 0 dB ÷ 60 dB.

Quá trình lắp đặt vận hành trên đài ra đa cho thấy, máy phát cải tiến làm việc ổn định, đồng bộ với các khối máy và toàn đài.

5. KẾT LUẬN

Máy phát cải tiến được thiết kế trên cơ sở các vi mạch tích hợp và bán dẫn khuếch đại công suất siêu cao tần sử dụng điện áp thấp (+5 V, ±12 V, +40 V), cho phép loại bỏ nguồn cao áp,

giảm công suất tiêu tán, giảm phát nhiệt. Việc tích hợp thử nghiệm thành công máy phát cải tiến cho phép cải tiến đồng bộ đài ra đa sử dụng đèn sóng chạy. Đài ra đa cải tiến cho phép nâng cao tính năng, đặc biệt độ ổn định hoạt động và chủ động trong công tác đảm bảo kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. *Корабельная радиолокационная станция целеуказания РЛС ЦУ 3Ц-25Э*. https://www.granit-electron.ru/products/military-products/radio-electronic-systems/shipborne-target-designation-radar-system-3C-25E.php.

[2]. Ровенский Г. В. Мякиньков Юрий Павлович. *Ведущий разработчик ЛБВ*. Фрязино, 2013, 114 с. ISBN 978-5-9901378-4-4.

[3]. Lê Văn Việt, Vũ Chí Thanh. *Nghiên cứu cải tiến khối điều khiển máy phát đài ra đa 3Ц-25Э.* Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự. Số 69-10.2020. T214-218.

[4]. Phạm Minh Hà. *Kỹ thuật mạch điện tử.* Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội 2018.

[5]. Analog devices. *HMC487LP5E datasheet, 2019.*

[6]. Jiang Lujun, Chen Hui, Ji Xinfeng and Zhang Yuxing. *Design for 25 W X-band solid state power amplifier.* Silicon Valley, no. 18, pp. 76-77, 2010.

[7]. Cheng Guangwei and Yan Yanqin. *Design for 300 W X-band solid state power amplifier module.* Computing Technology and Automation, vol. 33, no. 3, pp. 69-72, 2014.

ABSTRACT

RESEARCH ON IMPROVING THE HIGH FREQUENCY TRANSMITTER USING TRAVELING WAVE TUBE

This paper presents the results of research on improving the transmitter using traveling wave tube based on the integrated components and ultra-high frequency power amplifier semiconductors. Conduct practical integration testing to evaluate system performance, stability and synchronization.

Keywords: High frequency; Traveling wave tube; Power amplifier.

Nhận bài ngày 30 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 30 tháng 7 năm 2021
Chấp nhận đăng bài ngày 02 tháng 8 năm 2021

Địa chỉ: [1]Viện Ra đa/ Viện KH-CN quân sự;
[2]Phòng KTĐT/Cục Kỹ thuật Hải quân.
*Email: lgtrinh76@yahoo.com.