

GIẢI PHÁP THIẾT KẾ CHẾ THỬ THIẾT BỊ CỘNG CÔNG SUẤT CAO TẦN DẢI VI SÓNG

DESIGN AND TEST A MICROWAVE BAND HIGH-FREQUENCY POWER ADDING DEVICE

Trần Xuân Kiên, Bùi Công Thắng

Viện Điện tử - Viện KH-CN quân sự

Ngày nhận bài: 12/11/2024, Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2024, Phản biện: TS. Nguyễn Ngọc Đông

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và thử nghiệm về thiết bị vi sóng dải tần đến 2,4GHz, tích hợp đèn phát cao tần, chế tạo bộ phối hợp và ăng-ten loa nón, thử nghiệm cộng công suất của các thiết bị, nhằm tiến tới chế tạo súng điện tử chế áp các thiết bị điện tử tầm gần.

Từ khóa:

Thiết bị vi sóng; Bộ phối hợp và ăng-ten loa nón cho dải vi sóng.

Abstract:

The paper presents a research on electromagnetic waves with frequency up to 2.4GHz, integration of microwave emitting tube, antenna development, emission control and monitoring, and then development of electronic guns for electronic attacks on electronic devices on close range.

Keywords:

Microwave Equipment; Combiners and Horn Antennas for Microwave Range

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong giai đoạn hiện nay chế áp các thiết bị điện tử, các phương tiện của các đối tượng phạm pháp đã được đặt ra, điển hình như các thiết bị phá hủy các máy nghe lén, phá hủy các con rệp điện tử được giấu kín trong các vật liệu khác như gạch, gỗ..., phá hủy các dữ liệu, vật mang tin của chúng ta khi không sử dụng nữa

và không muốn cho các đối tượng khác trích xuất được. Ngoài ra còn được sử dụng để dừng xe các phương tiện gây rối, bạo loạn.... Sóng điện tử cao tần cũng đã được ứng dụng ở các nước để gây gián đoạn hoạt động của thiết bị điện tử, làm hư hỏng hoặc phá hủy mạch, tạo ra mất kiểm soát điều khiển đóng mở van điện tử, hư hỏng dữ liệu, mất kiểm soát truyền thông, ngắt điện. Trong bối cảnh chiến tranh

hiện đại sử dụng chế áp điện từ để gây nhiễu đường truyền vô tuyến và định vị vệ tinh hiện nay được cho là phương án hiệu quả nhất. Tuy vậy, các kỹ thuật chống chế áp điện từ cũng ngày càng trở nên hiệu quả khi ứng dụng các công nghệ thu chống nhiễu, xử lý ảnh kết hợp trí tuệ nhân tạo giúp các thiết bị điện tử vẫn có thể hoạt động hiệu quả trong môi trường nhiễu cao [3],[4].

Việc nghiên cứu và phát triển kỹ thuật vũ khí điện từ trường để chế áp các thiết bị điện tử thay thế và bổ sung cho các phương pháp truyền thống, đang trở thành một chủ đề quan trọng trong bối cảnh an ninh và quốc phòng hiện đại. Vũ khí EMP tạo ra xung điện từ trường tập trung năng lượng, có khả năng gây hỏng hóc hoặc tạm thời vô hiệu hóa các linh kiện điện tử trên các thiết bị điện tử khiến cho phương tiện không thể tiếp cận mục tiêu và bị tổn hại nghiêm trọng.

Trên cơ sở đó, nhóm nghiên cứu thực hiện phát triển kỹ thuật điện từ trường chế áp các thiết bị điện tử tập trung nghiên cứu giải pháp ứng dụng xung điện từ trường tác động trực tiếp lên các cơ cấu điện tử của phương tiện bay trong cự ly gần, làm cơ sở để nghiên cứu hoàn thiện thiết bị chế áp điện từ trường tập trung năng lượng có thể ứng dụng trong thực tế.

Ngoài nước có công trình nghiên cứu [2] cũng đưa ra kết quả nghiên cứu sử dụng thiết bị vi sóng chế áp thiết bị bay không người lái. Nhưng trong nghiên cứu này chỉ sử dụng một đèn phát, chưa có bộ phối hợp và ăng ten cho nhiều đèn phát.

Trong nước trước đây đã có công trình [7] nghiên cứu về vấn đề chế tạo thiết bị chế áp điện từ trường với 3 đèn phát, Bài báo này đóng góp các tính mới hơn như sau: Đã chế tạo, thử nghiệm bộ phối hợp tăng thành 5 đèn phát cùng ăng-ten, tìm ra các tham số d , L_1 , L của bộ phối hợp mới và d_m và $L_{\text{ăng ten}}$ của ăng ten loa; Thử nghiệm khả năng cộng công suất của các thiết bị vi sóng, tìm ra được khoảng cách đặt hai thiết bị, để chế áp đến vị trí mong muốn; Thử nghiệm đo thực tế bằng máy đo R&S TS-EMF, nhờ đó có thêm các kết quả về trường điện từ tại điểm cần chế áp như tần số, cường độ điện trường, mật độ công suất.

2. THIẾT KẾ BỘ PHỐI HỢP VÀ ĂNG TEN LOA HÌNH NÓN

Đối với súng điện từ yêu cầu đặt ra là cần thiết kế một ăng ten loa hình nón gọn nhẹ với các đặc tính bức xạ mong muốn từ đèn phát cao tần. Ăng ten loa hình nón cần có đường kính càng nhỏ càng tốt và có khả năng khuếch đại lớn, độ rộng chùm hẹp và hạn chế tối đa các búp sóng phụ phía sau ăng ten. Sử dụng 5 đèn magnetron để cung cấp năng lượng cho ăng ten yêu cầu phải phối hợp hiệu quả để tạo ra công suất phát lớn hơn. Do đó ăng ten được thiết kế gồm 2 phần: ống dẫn sóng hình trụ và phần loa nón. Ống dẫn sóng có chức năng phối hợp các đèn phát cao tần với nhau và truyền sóng từ các đèn magnetron ra loa nón. Phần loa nón của ăng ten sẽ làm tăng hệ số khuếch đại và định hướng sóng về phía trước hiệu quả với độ rộng chùm hẹp. Trong phần này bài báo trình bày về việc phối hợp cộng công suất các đèn magnetron và phần ăng-ten loa nón.

2.1. Thiết kế phần phối hợp công suất

Phần phối hợp công suất là ống dẫn sóng hình trụ. Ống dẫn sóng có thể bằng đồng hoặc thép mạ kẽm, một đầu hở và một đầu được bịt kín [1],[2].Việc chọn ống dẫn sóng có đường kính phù hợp hết sức quan trọng, với một dải sóng sẽ có một ống dẫn sóng với đường kính phù hợp. Trong phạm vi thiết bị sử dụng đèn phát cao tần có tần số 2,45GHz chúng tôi đã sử dụng ống dẫn sóng có đường kính d . Theo tài liệu [1],[2],[6],[7] giá trị các tham số của bộ phối hợp và ăng-ten cho 5 đèn phải thỏa mãn các công thức trong ống dẫn sóng dưới đây.

$$L_g = \frac{l}{\sqrt{\left[\frac{l}{\lambda}\right]^2 - \left[\frac{l}{\lambda_c}\right]^2}} \tag{1}$$

Với $\lambda = 12,2cm$ và $\lambda_c = 1,076 \times d$

Do đó:

$$L_g = \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{1}{12,2}\right]^2 - \left[\frac{1}{1,076 \times d}\right]^2}} \tag{2}$$

Chiều dài của ống dẫn sóng:

$$L = \frac{3}{4} \times L_g = \frac{3}{4} \times \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{1}{12,2}\right]^2 - \left[\frac{1}{1,076 \times d}\right]^2}} \tag{3}$$

Sóng được đưa vào ống dẫn sóng thông qua 5 que dò và tạo thành sóng đứng nhờ phản xạ tại đầu kín của ống dẫn sóng. Bên trong ống dẫn sóng sẽ có các điểm là bụng sóng và nút

sóng. Đầu dò được đưa vào ống dẫn sóng tại vị trí bụng sóng đầu tiên từ đầu kín của ống dẫn sóng.

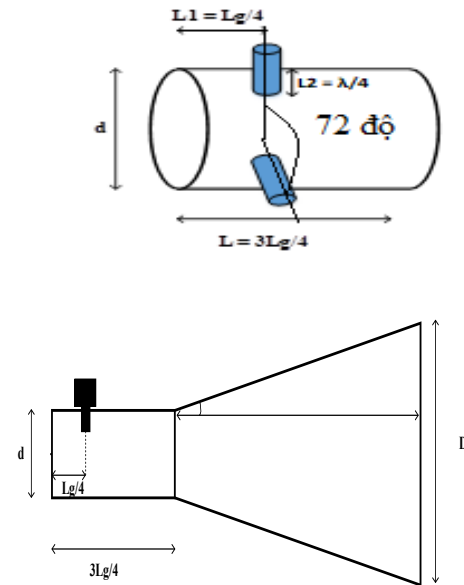
Khoảng cách từ que dò đến đầu kín ống dẫn sóng:

$$L_1 = \frac{1}{4} \times L_g = \frac{1}{4} \times \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{1}{12,2}\right]^2 - \left[\frac{1}{1,076 \times d}\right]^2}} \tag{4}$$

Chiều dài của que dò đặt bên trong ống dẫn sóng:

$$L_2 = \frac{\lambda}{4} = \frac{12,2}{4} = 3,05cm \tag{5}$$

Kết quả nhóm tính toán với 5 đèn phát sẽ có $d = 11,8 cm$, $L_1 = 4,1 cm$, $L = 19,3 cm$, các đèn được đặt tại các vị trí tạo với nhau các góc 72° như trên Hình 1.



Hình 1. Phần phối hợp và phần ăng-ten loa

2.2. Thiết kế phân ăng-ten loa

Giai đoạn đầu tiên phát triển hệ thống là thiết kế một ăng ten loa hình nón nhỏ gọn tạo ra các đặc tính bức xạ mong muốn từ các nguồn vi sóng. Yêu cầu thiết kế ăng-ten loa hình nón có kích thước càng nhỏ gọn càng tốt, phát xạ hiệu quả chế độ TE₁₁, có hệ số định hướng khoảng 10-15 dB và truyền năng lượng từ nguồn vào không gian càng nhiều càng tốt. Phần này mô tả lý thuyết về thiết kế ăng ten loa hình nón.

Thiết kế của ăng ten loa hình nón được điều chỉnh bởi kích thước hình học và các ràng buộc định hướng. Quá trình thiết kế đã tham khảo từ tài liệu *Ăng tenna Theory: Analysis and Design* của C. A. Balanis, trong đó có một phần về mở rộng ăng ten loa [6]. Việc thiết kế phần loa nón được gắn vào đầu hở của ống dẫn sóng tròn đã được nêu ở trên và tài liệu [6, 7].

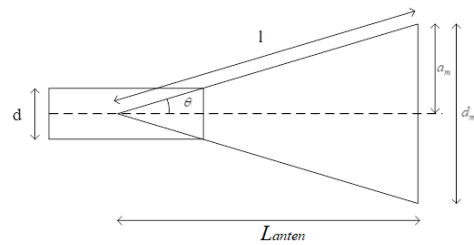
$$D(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left[\varepsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi a_m^2) \right] = 10 \log_{10} \left(\frac{C}{\lambda} \right)^2 - L(s) \quad (6)$$

Trong phương trình (6), biểu thức đầu biểu thị hệ số định hướng của miệng loa tròn đồng nhất, còn biểu thức thứ 2 được thể hiện trong phương trình (7) và được gọi là hệ số suy hao, là sự điều chỉnh để giải thích việc suy hao trong hệ số định hướng do hiệu suất độ mở. Hệ số suy hao, được tính bằng decibel theo công thức:

$$L(s) \cong (0,8 - 1,71s + 26,25s^2 - 17,79s^3) \quad (7)$$

Trong đó a_m là bán kính của miệng loa nón, λ là bước sóng của sóng bức xạ.

$$L(s) = -10 \log_{10} \varepsilon_{ap} \quad (8)$$



Hình 2. Mặt cắt ngang của ăng ten loa hình nón với các thông số thiết kế

Trong đó s là độ lệch pha cực đại, tính theo bước sóng

$$S = \frac{d_m^2}{8\lambda l} \quad (9)$$

Khả năng định hướng của loa nón sẽ tối ưu khi đường kính của nó bằng:

$$d_m = \sqrt{3l\lambda} \quad (10)$$

và giá trị này tương ứng với độ lệch pha khẩu độ tối đa 3/8 bước sóng và hệ số suy hao khoảng 2,9 dB.

Hệ số định hướng của loa hình nón là một hàm của đường kính khẩu độ, d_m và chiều dài trục $L_{\text{ăng ten}}$. Mối quan hệ được thể hiện trong hình 2. Vì thiết bị mong muốn là nhỏ gọn, có hệ số định hướng cao do đó cần lựa chọn ăng ten loa nón có kích thước tối ưu là tốt nhất. Tần số bức xạ mong muốn là 2,45 GHz tương ứng với bước sóng 12,2 cm. Từ Hình 2 ta có thể thấy khi chiều dài trục $L_{\text{ăng ten}}$ tăng thì khả năng định hướng tối đa có thể tăng. Nhóm thực hiện thử nghiệm với quy trình thử và phương pháp lựa chọn như trong tài liệu [7],

đã lựa chọn ra $L_{\text{ăng ten}} = 103 \text{ cm}$ và $d_m = 26,5 \text{ cm}$ là phù hợp nhất.

3. THỬ NGHIỆM ĐO THỰC TẾ

3.1. Giới thiệu hệ thống đo cường độ điện từ trường TS-EMF.

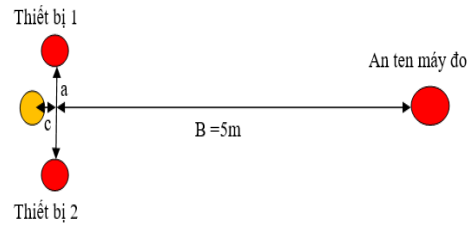
Nhóm nghiên cứu đã sử dụng hệ thống đo cường độ điện từ trường TS-EMF, hệ thống gồm các thành phần cơ bản sau:

- Ăng ten đo: Ăng ten R&S TSEMF B1 dải tần 30MHz-3GHz;
- Máy thu đo và phân tích: Máy phân tích phổ R&S FSL18;
- Máy tính chạy phần mềm đo cường độ trường RFEX;
- Các kết nối: Ăng ten TSEMF-B1 và TSEMF-B3 có hai dây kết nối;
- + Dây cáp dữ liệu: dây RF, đầu kết nối loại N;
- + Dây cáp điều khiển: dây mỏng, đầu 7 chân, đầu này sẽ kết nối với dây cáp chuyển đổi từ 7 chân sang USB và nối vào máy tính;



Hình 3. Ăng ten đo TSEMF-B1 30M-3GHz

3.2. Phân tích đánh giá kết quả đo.



Hình 4. Khoảng cách giữa hai thiết bị phát a, khoảng cách đến vị trí đặt máy đo B.

Thiết bị 2 gồm ăng ten và bộ phối hợp với ba đèn phát [7], Thiết bị 1 gồm ăng ten và bộ phối hợp với năm đèn phát, thử nghiệm lần 1, đo tại điểm B, chỉ bật thiết bị 1, kết quả đo như bảng 1. Thử nghiệm lần 2 bật cả hai thiết bị. Như vậy khi so sánh kết quả đo giữa hai lần thử nghiệm đưa ra kết quả là thiết bị 1 với 5 đèn phát có công suất cao hơn thiết bị 2 với 3 đèn phát với con số cụ thể.

Mục đích đo tại điểm B cách thiết bị 5m là để đánh giá mật độ công suất, cường độ điện trường tại, có đủ để chế áp được các thiết bị điện tử hay không. Đo tại điểm C để khẳng định xem phía sau ăng ten có mật độ công suất hay không và khẳng định đảm bảo an toàn cho người thao tác.

Thử nghiệm 1: Khi chỉ bật thiết bị 1: Đo tại điểm B. Cường độ điện trường trung bình cao nhất là 31.3864 [V/m] , mật độ công suất trung bình cao nhất là $149.9348 \text{ [}\mu\text{W/cm}^2\text{]}$, tại tần số 2457 MHz và tổng cường độ điện trường đo trong 1 phút (RMS) là 81.3340 V/m . Giá trị hiệu dụng trung bình (RMS) được tính là căn bậc 2 của trung bình bình phương điện áp xoay chiều, tổng là tính trong 1 phút và chia

cho các điểm tần số đo. Tổng cường độ điện trường (RMS) là 117.8998 V/m.

Khi bật thiết bị 1 và thiết bị 2 đồng thời: Đo tại điểm B. Cường độ điện trường trung bình cao nhất là 35.3718 [V/m], mật độ công suất trung bình cao nhất là 331.8730 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$], tại tần số 2454 MHz và tổng cường độ điện trường (RMS) đo trong 1 phút là 117.8998 V/m.

Như vậy có thể nhận thấy có sự cộng công suất tại điểm đo thể hiện trên Hình 5a, thể hiện qua mật độ công suất cao nhất và tổng cường độ điện trường trung bình RMS tăng lên 30% khi bật thêm thiết bị 2, điều đó khẳng định việc thiết bị 1 (5 đèn phát) có công suất tăng so với thiết bị 2 (3 đèn phát). Trên hình 5b là cường độ điện trường đo tại điểm C ở phía sau ăng ten, kết quả đo cường độ điện trường là rất nhỏ, lớn nhất là 0,4 V/m, qua đó khẳng định phía sau ăng ten không xuất hiện trường điện từ lớn, đảm bảo an toàn cho người vận hành thiết bị.

**Bảng 1. Kết quả khi thực hiện thử nghiệm 1
Bật chỉ thiết bị 1**

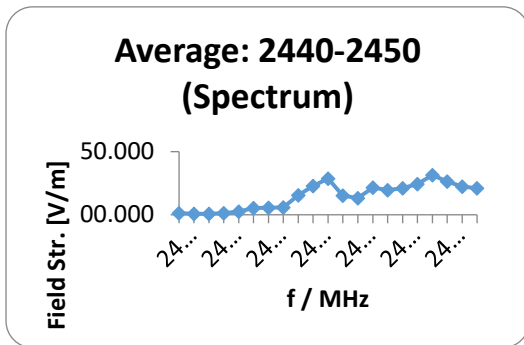
Tần số	Cường độ điện trường E	Mức trường	Giới hạn L	Mật độ công suất
[MHz]	[V/m]	[dB $\mu\text{V}/\text{m}$]	[V/m]	[$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]
2446.0000	5.6739	135.0777	27.5000	8.5394
2447.0000	5.9702	135.5197	27.5000	9.4543
2448.0000	15.5909	143.8574	27.5000	64.4763
2449.0000	22.7498	147.1395	27.5000	137.2820
2450.0000	28.7684	149.1783	27.5000	219.5273
2451.0000	15.3323	143.7121	27.5000	62.3552
2452.0000	13.2956	142.4741	27.5000	46.8893
2453.0000	21.5557	146.6713	27.5000	123.2492
2454.0000	19.5869	145.8393	27.5000	101.7634

2455.0000	21.1796	146.5184	27.5000	118.9856
2456.0000	24.3148	147.7174	27.5000	156.8192
2457.0000	31.3864	149.9348	27.5000	261.3014
2458.0000	26.2731	148.3902	27.5000	183.0967
2459.0000	22.3709	146.9937	27.5000	132.7474
2460.0000	21.0582	146.4684	27.5000	117.6260
Tổng cường độ điện trường (RMS)				81.3340

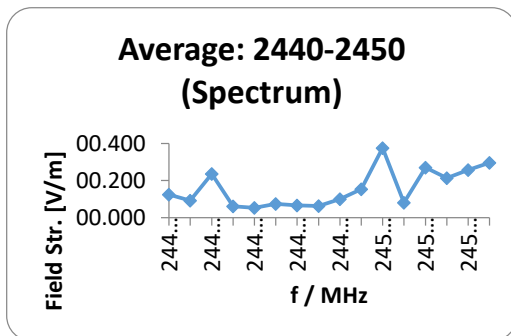
**Bảng 2. Kết quả khi thực hiện thử nghiệm 2
Bật cả Thiết bị 1 và Thiết bị 2.**

Tần số	Cường độ điện trường E	Mức trường	Giới hạn L	Mật độ công suất
[MHz]	[V/m]	[dB $\mu\text{V}/\text{m}$]	[V/m]	[$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]
2446.0000	26.1994	148.3658	27.5000	182.0714
2447.0000	34.2607	150.6959	27.5000	311.3517
2448.0000	28.8183	149.1934	27.5000	220.2896
2449.0000	32.7542	150.3053	27.5000	284.5727
2450.0000	34.9483	150.8685	27.5000	323.9747
2451.0000	32.6352	150.2737	27.5000	282.5084
2452.0000	25.3676	148.0856	27.5000	170.6931
2453.0000	28.6805	149.1517	27.5000	218.1883
2454.0000	35.3718	150.9731	27.5000	331.8730
2455.0000	25.1510	148.0111	27.5000	167.7915
2456.0000	28.8713	149.2093	27.5000	221.1019
2457.0000	22.1221	146.8965	27.5000	129.8105
2458.0000	23.2788	147.3392	27.5000	143.7407
2459.0000	26.2141	148.3707	27.5000	182.2759
2460.0000	27.0281	148.6363	27.5000	193.7711
Tổng cường độ điện trường (RMS)				117.8998 V/m

a)



b)



Hình 5. Cường độ điện trường trong khi thử nghiệm 1, a- thử nghiệm 2 đo tại vị trí B=5m, b- đo tại vị trí phía sau c = 0,2m.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu tính toán, chế tạo và thử nghiệm bộ phối hợp và ăng-ten loa nón với các tham số d , $L1$, L của bộ phối hợp và là d_m và $L_{\text{ăng ten}}$ của ăng ten loa cho 5 đèn phát dải vi sóng, công suất tăng 30% so với thiết bị có 3 đèn phát, tìm ra khoảng cách đặt các thiết bị chế áp để cộng công suất của các thiết bị với nhau. Thử nghiệm và so sánh kết quả với các nghiên cứu trước đây, đưa ra minh chứng về tối ưu các tham số thiết kế dựa trên lý thuyết và kiểm nghiệm thực tế. Kết quả nghiên cứu này sẽ là những cơ sở thực tiễn để chúng tôi nghiên cứu, phát triển hoàn thiện thiết bị ứng dụng trong chế áp các thiết bị điện tử trong tầm gần.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Виноградов Е.М, Винокуров В.И, Харченко И.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Л. Сосудстроение 1986.
- [2]. High power microwave for knocking out programmable suicide drones. April 2021 Security and Defence Quarterly 34 ISSN 2300-8741. DOI:10.35467/sdq/135068.
- [3]. Mohamed Zied Chaari, HIGH POWER MICROWAVE WEAPONS: DISRUPTIVE TECHNOLOGY FOR THE FUTURE Major Jack McGonegal, USAF ACTS 2.0 Research Task Force Air Command and Staff College, Maxwell Air Force Base, AL Spring 2020.
- [4]. Jan Valouch. Electromagnetic Devices for Stopping Vehicles Sensors & Transducers, Vol. 205, Issue 10, October 2016, pp. 33-37.

[5]. Trần Xuân Kiên, Trần Văn Hùng, Lê Duy Hiệu. Thiết kế các khối chức năng và các phần tử của đầu tự dẫn vô tuyến chủ động. Nhà xuất bản QĐND. 2016.

[6]. C. A. Balanis. Ăng tenna Theory: Analysis and Design, 4th Edition, WileyInterscience, 2016, ISBN: 978-1-118-64206-1.

[7]. Trần Xuân Kiên và các tác giả. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp thiết kế ăng ten cho thiết bị chế áp điện tử tầm gần. Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, Viện KH&CN QS, Bộ Quốc Phòng. ISSN 1859-1043. Số đặc san, Viện Điện tử, 9-2020 tr.168-177.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Trần Xuân Kiên tốt nghiệp đại học (năm 1996) tại Trường Học viện Kỹ thuật quân sự và nhận bằng Tiến sĩ ngành Tự động hóa tại Trường Đại học tổng hợp Kỹ thuật Điện Xanh pê téc bua, Liên bang Nga năm 2006. Hiện nay tác giả công tác tại Viện Điện tử - Viện KH-CN quân sự, bộ tổng tham mưu, BQP, được công nhận nghiên cứu viên cao cấp năm 2014, được công nhận PGS năm 2018.

Hướng nghiên cứu chính: Tự động hóa, Xử lý tín hiệu số, trí tuệ nhân tạo.



Tác giả Bùi Công Thắng tốt nghiệp đại học (năm 2005) tại Trường Học viện Kỹ thuật quân sự và nhận bằng Thạc sĩ (năm 2011) tại Trường Học Viện kỹ thuật quân sự. Hiện nay tác giả công tác tại Viện Điện tử - Viện KH-CN quân sự.

Hướng nghiên cứu chính: Thông tin vô tuyến.