e-ISSN: 3039 - 3145
Tạp chí Khoa học và Công nghệ Y khoa, 2026, 06, 081-084

PHÁT TRIỂN MÁY TẠO XUNG ĐIỆN ÁP THẤP CÓ KÍCH THƯỚC NHỎ GỌN CHO CHỤP CẮT LỚP

Nguyễn Sỹ Hồng Đức[1], Denisenko K. D.[2], Nguyễn Tiến Dũng[2; 3*]

[1]*Đại học Bách khoa Hà Nội*
[2]*Đại học kỹ thuật Quốc gia Samara*
[3]*Trường Đại học Lương Thế Vinh, Số 9 Đường Cầu Đông, Phường Nam Định, tỉnh Ninh Bình, Việt Nam*
[*]*Tác giả liên hệ: nguyentiendung@ltvu.edu.vn; tiendung.bmstu@bk.ru*

THÔNG TIN BÀI BÁO
Ngày nhận: 16/08/2026
Ngày hoàn thiện: 26/08/2026
Ngày chấp nhận: 06/09/2026
Ngày đăng: 15/09/2026

TỪ KHÓA
Ăng-ten Vivaldi;
Máy tạo xung điện áp;
Chụp cắt lớp.

TÓM TẮT
Bài báo này trình bày quá trình phát triển một bộ tạo xung công suất thấp, có khả năng tạo ra các xung điện áp với độ rộng ở mức nano giây và biên độ vượt quá 20 V. Một loại ăng-ten Lalezari dạng dual-horn — phiên bản cải tiến của ăng-ten Vivaldi — cũng được giới thiệu. Bộ tạo xung này có thiết kế nhỏ gọn, trọng lượng nhẹ và vận hành độc lập nhờ nguồn điện tích hợp, giúp nó trở nên phù hợp cho các ứng dụng y tế, đặc biệt là kỹ thuật chụp cắt lớp độ phân giải cao.

DEVELOPMENT OF A COMPACT LOW-VOLTAGE PULSE GENERATOR FOR MEDICAL TOMOGRAPHY

Sy Hong Duc Nguyen[1], Denisenko K. D.[2], Tien Dung Nguyen[2; 3*]

[1]*Hanoi University of Science and Technology*
[2]*Bauman Moscow State Technical University*
[3]*Luong The Vinh University, 9 Cau Dong Street, Nam Dinh Ward, Ninh Binh Province, Viet Nam*
[*]*Corresponding Author: nguyentiendung@ltvu.edu.vn; tiendung.bmstu@bk.ru*

ARTICLE INFO
Received: Aug 16, 2026
Revised: Aug 26, 2026
Accepted: Sep 06, 2026
Published: Sep 15, 2026

KEYWORDS
Vivaldi antenna;
Voltage pulse generator;
Computed tomography.

ABSTRACT
This paper presents the development of a low-power pulse generator capable of producing voltage pulses with nanosecond-range widths and amplitudes exceeding 20 V. A Lalezari dual-horn antenna—an improved version of the Vivaldi antenna — is also introduced. The pulse generator features a compact, lightweight design and operates independently thanks to an integrated power source, making it suitable for medical applications, particularly high-resolution tomography.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, sự quan tâm đến việc sử dụng các xung điện áp nano giây và dưới nano giây cho các ứng dụng trong khoa học [1]; trong kỹ thuật [2]; và trong y học [3] đã và đang tăng nhanh. Có nhiều loại máy phát xung được sử dụng để tạo ra các xung ngắn như vậy, nhưng chủ yếu là các loại máy phát sử dụng phần tử bán dẫn và chủ yếu có hai phần tử chính: một công tắc bán dẫn để *ON/OFF* dòng điện; một thiết bị lưu trữ năng lượng (như là một nguyên tắc, thiết bị lưu trữ năng lượng là loại cảm ứng). Các loại công tắc dòng điện được dùng phổ biến nhất là sử dụng các phần tử bán dẫn khóa: *diode* với lưu trữ điện tích [4]; *diode SOS* (công tắc mở bán dẫn); *diode* trôi với khả năng tái tạo điện trở ngược [5; 6]. Loại công tắc mới nhất có sự nổi bật là khả năng tạo ra các xung có tham số biên độ-độ rộng xung là các xung điện áp với biên độ từ hàng chục volt đến hàng chục kilovolt và chạy ở chế độ tần số với tần số cao hơn hàng trăm kilohertz [7].

Tuy nhiên, công tắc *diode* trôi với khả năng tái tạo điện trở ngược là khá đặc thù về thiết kế; công nghệ chế tạo; sử dụng như là một thành phần chính của máy phát; và khi chế tạo trụ cột cao áp (điều này đòi hỏi phải loại bỏ sơ bộ các cấu trúc bán dẫn riêng lẻ theo các tham số *physico-topological* để bảo đảm sự chuyển mạch đồng bộ của chúng trong trụ cột cao áp). Vì thế, loại công tắc bán dẫn này là rất hiếm trên thị trường, không như các loại công tắc *transistor* và *diode* tích tụ điện tích (*Charge Accumulation Diodes — CAD*). Do những hạn chế này, nhiều nghiên cứu sử dụng *diode* trôi với khả năng tái tạo điện trở ngược để làm công tắc dòng điện đã chỉ ra sự không hợp lý trong thực tiễn[8; 9].

Xu hướng sử dụng các máy phát xung điện áp *nano* giây và *subnano* giây trong y học đang ngày càng phát triển, không chỉ trong nghiên cứu ở phòng thí nghiệm mà còn trên cơ thể người bệnh. Thí dụ, những năm gần đây đã có những nghiên cứu nhằm xem xét khả năng sử dụng bức xạ vi sóng để tổng hợp hình ảnh *radar* nhằm phát hiện sớm ung thư vú [10; 11]. Kỹ thuật phát hiện ung thư vú dựa trên việc chiếu xạ vùng ngực và các mô mềm bằng các tín hiệu cực ngắn về thời gian (*nano* và *subnano* giây) được tạo ra bởi các loại máy tạo xung và các xung này được phát ra bởi một bộ ăng-ten (tạo thành, về nguyên tắc, được gọi là một mảng ăng-ten). Các tín hiệu xung cực ngắn phát ra sẽ bị tán xạ bởi sự không đồng nhất của các mô mềm trên cơ thể sống, các tín hiệu tán xạ này sẽ được thu nhận bởi các bộ thu thích hợp và được xử lý, qua đó sẽ tạo ra hình ảnh của mô mềm bị chiếu xạ. Hiện tượng tán xạ tín hiệu xảy ra là do sự khác biệt đáng kể giữa các thông số điện môi của mô khỏe mạnh và mô khối u. Trên thực tế, việc sử dụng các xung cực ngắn và siêu cực ngắn chiếu xạ vào mô sinh học, về cơ bản, đó là nội dung của khái niệm "Chụp cắt lớp".

Bài báo này xem xét bộ tạo xung *nano* giây được thiết kế dựa trên công tắc dòng điện bán dẫn loại *diode* tích tụ điện tích *CAD* có sẵn trên thị trường, cũng như hệ ăng-ten *dual-horn* Lalezari với khả năng hoạt động độc lập từ nguồn điện tích hợp, để sử dụng vào chụp cắt lớp với độ phân giải cao trong y học.

2. MỤC TIÊU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

Phát triển một máy phát xung điện áp thấp với độ rộng xung cực ngắn dựa trên công tắc bán dẫn có tính phổ biến trên thị trường và ứng dụng tốt trong y học — chụp cắt lớp.

2.2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

* Dựa trên nguyên lý chung về hoạt động của máy phát xung, phát triển theo hướng hoàn thiện nguyên lý để có thể sử dụng phần tử bán dẫn có sẵn trên thị trường làm công tắc dòng điện, cơ sở để tạo xung điện áp thấp;

** Tích hợp thêm mạch cộng hưởng để hoàn thiện máy phát xung tạo ra chuỗi xung điện áp thấp với độ rộng xung (ở mức bằng ½ biên độ của xung) được đo theo đơn vị nano giây và tích hợp hoàn chỉnh trong nó một bộ pin Li-pol bảo đảm máy hoạt động độc lập.

*** Thực nghiệm và thu dao động ký chuỗi xung điện áp thấp để chứng minh tính đúng kỹ thuật và tính hiệu quả ứng dụng sản phẩm trong y học, đặc biệt trong chụp cắt lớp với độ phân giải cao.

3. NỘI DUNG VÀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA MÁY TẠO XUNG ĐIỆN ÁP THẤP ĐƯỢC ĐỀ XUẤT

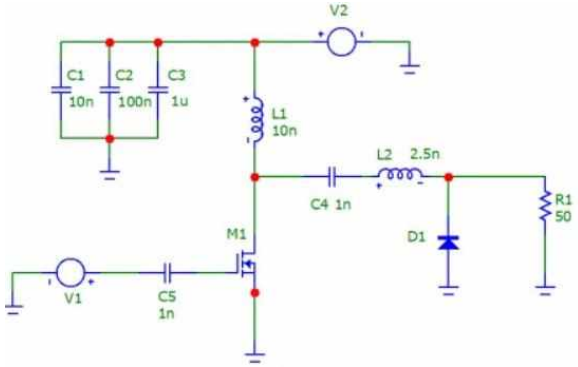
Nguyên tắc hoạt động của *diode CAD* được sử dụng trong mạch máy phát xung có tích điện cảm ứng, có thể chia thành ba giai đoạn:

* Tại thời điểm ban đầu, các điều kiện được tạo ra để bơm *plasma electron*-lỗ trống vào vùng *i* của *diode*, qua đó, diễn ra sự tích tụ điện tích không gian;

** Ở giai đoạn thứ hai, xảy ra sự thay đổi hướng của dòng điện, dẫn đến loại bỏ (tiêu tán) *plasma electron*-lỗ trống và tích tụ năng lượng trong thiết bị lưu trữ cảm ứng;

*** Giai đoạn thứ ba (cuối cùng), dòng điện trong mạch của *diode ACD* bị ngắt đột ngột, dẫn đến sự hình thành xung điện áp trên tải.

Trên **H. 1** trình bày mạch điện nguyên lý của máy phát xung điện áp được phát triển, mà sơ đồ mạch này được mô hình hóa bằng phần mềm CAD.



H. 1. *Sơ đồ mạch điện của máy tạo xung điện áp được đề xuất*

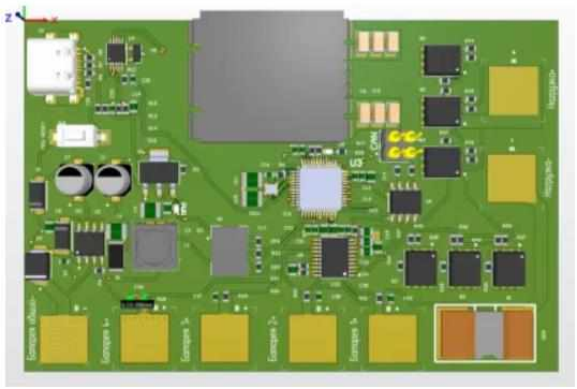
Ở **H. 1**, *transistor MOSFET* M1 có tốc độ chuyển đổi trạng thái (đóng-mở hoàn toàn) cao, được sử dụng làm công tắc bán dẫn và một bộ tạo xung điện áp thấp hình chữ nhật với độ rộng xung từ $30 \div 50$ns được sử dụng làm nguồn V1. Nguồn V2 được sử dụng để điều chỉnh điện áp trên *transistor MOSFET* và biên độ của các xung được tạo ra trên tải. Các cuộn cảm L1 và L2, cũng như tụ điện C4, sẽ tạo thành mạch cộng hưởng LC để bơm *plasma electron*-lỗ trống vào *diode* D1 là loại SMMD837.

Bằng cách thay đổi thông số của nguồn V2, các phần tử L1; L2; C4, có thể thay đổi giá trị để mạch cộng hưởng có các chế độ làm việc khác nhau, tương ứng là các hình dạng xung khác nhau. Trên **H. 1** đã chỉ ra giá trị của các phần tử của mạch để thu được các thông số biên độ-thời gian tối ưu của xung được tạo ra trên tải (điện trở R1).

Diode CAD loại SMMD837 được chọn làm công tắc dòng điện dựa trên thông số kỹ thuật của nó: điện dung tiếp giáp *p-n* cực nhỏ, bằng 0,2pF; thời gian tồn tại của các hạt tích điện không cốt lõi, bằng 5ns; thời gian phục hồi ngược không đáng kể, bằng 60ns. Điện áp đánh thủng của *diode* loại này là 20V, tuy nhiên, do hoạt động của mạch được đề xuất có thời gian bơm *plasma electron*-lỗ trống là rất ngắn và thời gian chuyển mạch là *nano* và *subnano* giây nên *diode* này có thể sử dụng để tạo ra các xung điện áp với biên độ lớn hơn 20V.

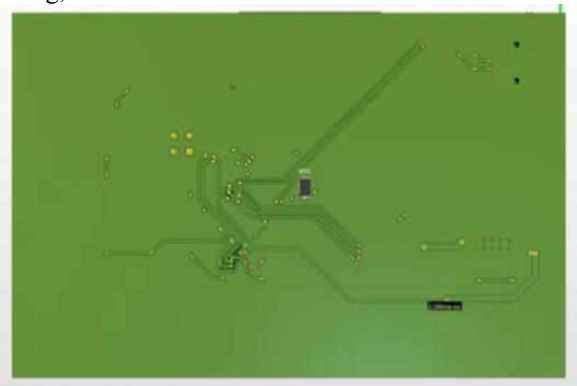
3.2. MÁY TẠO XUNG ĐIỆN ÁP THẤP ĐƯỢC PHÁT TRIỂN

H.2 là ảnh chụp mô hình 3D của mạch in (nhìn từ trên xuống) của máy tạo xung, trên hình có thể nhìn rõ bộ vi điều khiển chịu trách nhiệm tạo xung hình dạng vuông chính với biên độ 5V, các miếng đệm tiếp xúc là để kết nối với pin *Li-Pol* có điện áp định mức là 3,7V và dung lượng là 480mAh, một mạch gồm hai phần tử được kết nối nối tiếp nhau: một *transistor MOSFET* cao áp (bơm nguồn cho *diode CAD*) kết nối nối tiếp với một *diode CAD* (đóng vai trò là một công tắc dòng điện).



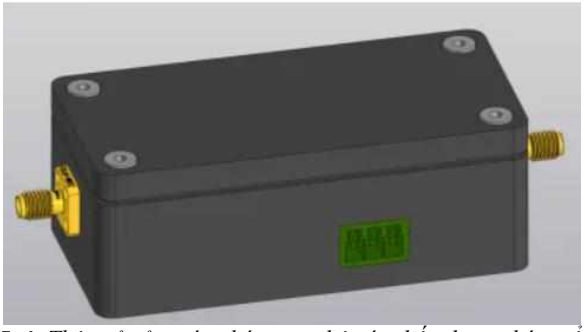
H.2. *Mô hình 3D của mạch in của máy tạo xung, nhìn từ trên xuống*

Trên **H.3** là ảnh chụp mô hình 3D của mạch in của máy tạo xung, nhìn từ dưới lên.



H.3. *Mô hình 3D của mạch in của máy phát xung, nhìn từ dưới lên*

Trên **H.4** là ảnh chụp mô hình 3D của thân vỏ máy phát xung điện áp *nano* giây đã được phát triển với kích thước vỏ máy là 95x36x27mm. Việc kết nối đến tải được thực hiện qua cáp chuyên dụng với đầu nối loại *SMA*.



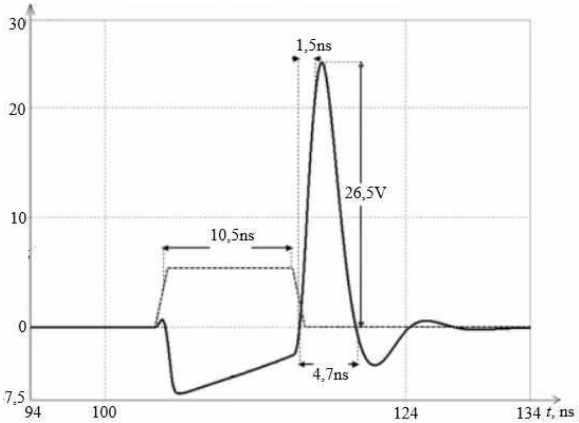
H. 4. *Thân vỏ của máy phát xung điện áp thấp được phát triển*

Trên **H.5** là ảnh chụp ăng-ten Lalezari được phát triển dựa trên ăng-ten Vivaldi [12], ăng-ten Vivaldi được sử dụng phổ biến và bao gồm hai bộ phát được bố trí song song với nhau. Ăng-ten hai loa *dual-horn* Lalezari được kết nối với máy phát xung được phát triển nêu trên bằng cáp chuyên dụng có tính tổn thất thấp với đầu nối loại *SMA*. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng, để thu được chùm tia hẹp thì phải sử dụng các bộ phát xung loại khác.



H. 5. *Ảnh chụp ăng-ten hai loa được phát triển Lalezari*

Trên **H.6** trình bày đồ thị dao động ký của các xung điện áp thấp, được tạo ra bởi máy phát xung điện áp đã được phát triển và kết nối với tải 50Ohm. Từ **H.6** có thể thấy rằng, độ rộng của xung ở đáy là 4,7ns; độ rộng của xung ở mức ½ biên độ cực đại là xấp xỉ 2ns; sườn trước của xung (thời gian chuyển mạch của *diode*) nhỏ hơn 1,5ns và độ cao sườn trước xấp xỉ 26V.



H. 6. *Đồ thị dao động ký của máy phát xung điện áp đã được phát triển*

4. THẢO LUẬN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Từ dao động ký của xung do máy phát xung điện áp thấp với độ rộng xung *nano* giây được phát triển, cho thấy rằng: chất lượng xung (đòi hỏi về độ rộng xung phải cực ngắn với biên độ đủ lớn phù hợp cho chiếu xạ vào các mô mềm của cơ thể sống) của máy phát xung điện áp thấp được phát triển là phù hợp cho ứng dụng thực tế trong y học, nhằm phát hiện khối u với độ phân giải cao trong cơ thể sống;

Máy phát xung điện áp thấp và độ rộng xung với đơn vị *nano* giây được phát triển này có thể hoạt động từ nguồn bên ngoài 12V hoặc từ nguồn pin *Li-Pol* 480mAh được tích hợp. Các thử nghiệm tại một số cơ sở y tế và trong phòng thí

nghiệm cho thấy máy phát xung điện áp thấp này có thể chạy liên tục trong khoảng 6 tiếng khi tạo ra các xung điện áp với biên độ 26V và độ rộng trung bình của xung khoảng 2ns ở độ cao bằng một nửa biên độ của xung và với tần số lặp lại là 10kHz, được phát ra trên tải 50Ohm.

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả phát triển máy phát xung điện áp thấp với độ rộng xung nano giây.

Bài báo chỉ ra khả năng sử dụng *diode CAD* sẵn có trên thị trường làm phần tử công tắc dòng điện để tạo ra các xung điện áp ngắn trong chế độ tần số lặp lại 10kHz.

Một thử nghiệm đánh giá về thời gian hoạt động của máy phát xung điện áp được phát triển này đã được tiến hành. Tùy thuộc vào thông số của xung điện áp được tạo ra mà thời gian hoạt động liên tục của nó xấp xỉ 6 tiếng.

Một ăng-ten *dual-horn* Lalezari (phiên bản phát triển của ăng-ten Vivaldi) để truyền tải hiệu quả các xung được tạo ra, cũng được trình bày.

Máy phát xung điện áp thấp nano giây được phát triển có thể ứng dụng tốt trong nghiên cứu y sinh, đặc biệt hiệu quả trong chụp cắt lớp với độ phân giải cao.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] **A. A. Samokhvalov, K. A. Sergushichev, S. I. Eliseev, A. A. Smirnov, M. V. Timshina.** High-voltage semiconductor voltage pulse generator for generating a capillary discharge in a soft X-ray source // RUDN Journal of Engineering Research. 2023. Vol. 24. No. 4. P. 331–339. http://doi.org/10.22363/2312–8143–2023–24–4-331–339.

[2] **Platonov, K. V.** Generator of short high-voltage pulses for the initial breakdown of a liquid dielectric / K. V. Platonov, I. S. Doronin // Collection of abstracts and proceedings of the Twenty-First All-Russian Scientific Conference of Physics Students and Young Scientists (VNKSF-21, Omsk): conference proceedings and abstracts. Vol. 1. — Yekaterinburg — Omsk: ASF of Russia Publishing House, 2015. — P. 501–502.

[3] **Вдовин В. А., Плютинская А. Д., Панкратов А. А., Воронцова М. С., Сапецкий С. А., Денисов Р. А., Черепенин В. А**. Влияние мощных электромагнитных импульсов наносекундной длительности на опухолевые клетки в системе in vitro. // Журнал радиоэлектроники. — 2026. — №. 3. С. 1–25. https://doi.org/10.30898/1684–1719.2026.3.8.

[4] **A. V. Demyanenko, Yu. I. Alekseev, I. V.** Semernik. An efficient noise generator based on a charge-storage diode. Russian Physics Journal. Vol. 57, No. 4. 2014. Pp. 117–120.

[5] **Смирнов А. А., Иванов Б. В., Кардо-Сысоев А. Ф., Шевченко С. А**. Исследование процесса формирования субнаносекундных перепадов напряжения карбид-кремниевыми дрейфовыми диодами с резким восстановлением // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 4 (29). С. 97.

[6] **Ivanov B. V., Smirnov A. A., Shevchenko S. A., Kardo-Sysoev A. F**. Generation of nanosecond voltage pulses using drift step-recovery diodes // Journal of Russian Universities. Radioelectronics. 2015. No. 3. P. 25–29.

[7] **Ilyin V. A., Afanasyev A. V., Demin Y. S., Ivanov B. V., Luchinin V. V., Sergushichev K. A., Smirnov A. A**. 30 kV pulse diode stack based on 4H-SiC. Materials Science Forum. 2018. Т. 924. С. 841–844.

[8] Елфимов А. Е., Величкина А. С., Усков Г. К., Бобрешов А. М. Исследование параметров диодов с накоплением заряда в САПР. СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 2024. Вып. 6. С. 4–5.

[9] **Bobreshov, A.M., Zhabin, A.S., Ryazantsev, A.D., Stepkin, V.A. and Uskov, G. K**. Improvement of Ultrashort Pulses by Serial Connection of Step Recovery Diodes // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. — Vol. 31. — № 2. — Pp. 204–206, Feb. 2021, doi: 10.1109/LMWC.2020.3046925.

[10] **Васин В. В., Еремеев А. И., Васильева М. А**. Разработка подхода СШП-томографии при сферическом сканировании // В сборнике: Труды Шестнадцатой Всероссийской конференции студенческих научно-исследовательских инкубаторов. под ред. В. В. Демина. 2019. С. 23–25.

[11] **Минин О. В., Минин И. В**. Микроволновый имиджинг рака молочной железы // Вестник СГУГиТ, Том 23, № 1, 2018. С. 189–199.

[12] **Frantsuzov A. D**. Design Challenges for Ultra-Wideband Antennas Radiating Ultrashort-Pulse Signals // Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2012. No. 2. P. 9–15.