

Phân tích, lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát cho ra đa xuyên đất

Võ Xung Hà, Phương Văn Quang*, Vũ Đình Tuấn

Viện Ra đa/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: phuongquangmta@gmail.com

Nhận bài: 02/6/2022; Hoàn thiện: 29/7/2022; Chấp nhận đăng: 09/8/2022; Xuất bản: 28/10/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.82.2022.167-170>

TÓM TẮT

Ra đa xuyên đất được nghiên cứu, ứng dụng trong phát hiện các vật thể kim loại ở nhiều dải độ sâu khác nhau. Để đảm bảo khả năng đo, các loại ra đa xuyên đất cần được tối ưu cấu trúc tín hiệu phát cho từng dải độ sâu khác nhau. Bài báo này trình bày các nguyên tắc phân tích, lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát cho hệ thống ra đa xuyên đất ở dải tần 100 ÷ 1000 MHz. Kết quả phân tích nguyên lý hoạt động, tính toán, thử nghiệm thực tế cho thấy việc lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát quyết định đến độ sâu phát hiện, độ phân giải theo yêu cầu thiết kế nhằm đáp ứng yêu cầu hoạt động trên ra đa xuyên đất.

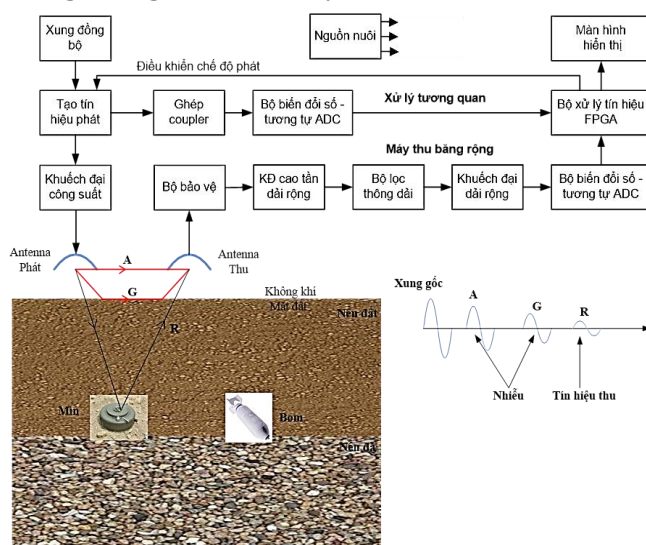
Từ khóa: Ra đa GPR; Tín hiệu; Cấu trúc tín hiệu.

1. MỞ ĐẦU

Ra đa xuyên đất (viết tắt là ra đa GPR – Ground Penetrating Radar) là các thiết bị cảm biến theo nguyên lý ra đa được nghiên cứu phát triển mạnh mẽ từ những năm 1980 [1]. Ra đa GPR sử dụng sóng vô tuyến để thăm dò địa chất hoặc một môi trường bất kỳ có tồn hao điện môi. Trên thế giới, ra đa GPR thường được thiết kế để hoạt động trong dải tần cực rộng từ 100 MHz đến 3000 MHz và có tính lưỡng dụng trong các nghiên cứu về môi trường, xây dựng, khảo cổ và dò tìm bom mìn trong lĩnh vực quân sự [2]. Trong đó, lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát là một trong những công nghệ then chốt đảm bảo khả năng làm việc hiệu quả của ra đa GPR. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày giải pháp phân tích, tính toán, lựa chọn dạng tín hiệu phát, độ rộng xung phát và tần số làm việc trung tâm nhằm đáp ứng yêu cầu về cấu trúc tín hiệu phát cho hệ thống ra đa GPR ở dải tần 100 ÷ 1000 MHz.

2. PHÂN TÍCH, LỰA CHỌN CẤU TRÚC TÍN HIỆU PHÁT CHO RA ĐA XUYÊN ĐẤT

2.1. Nguyên lý hoạt động chung của ra đa xuyên đất



Hình 1. Sơ đồ chức năng ra đa GPR.

Ra đa GPR hoạt động theo nguyên tắc sau: Sóng điện từ phát ra từ một anten phát dưới dạng xung, lan truyền trong vật chất với vận tốc chủ yếu được quyết định bởi tính chất của vật liệu. Khi sóng lan truyền trong lòng đất, nếu nó gặp các bất đồng nhất hoặc các mặt ranh giới giữa các môi trường có tính chất điện khác nhau, một phần năng lượng sóng sẽ phản xạ hoặc tán xạ trở lại mặt đất trong khi phần năng lượng còn lại tiếp tục di chuyển xuống phía dưới [3]. Sóng phản xạ lại được ghi nhận bởi anten thu [4] và lưu trữ trong bộ nhớ của thiết bị để sử dụng cho xử lý và phân tích về sau. Sơ đồ chức năng của ra đa GPR được thể hiện trong hình 1 được phân thành các tuyến cơ bản như sau:

- Tuyến phát;
- Tuyến thu;
- Tuyến xử lý tín hiệu và hiển thị;
- Tuyến điều khiển và đảm bảo.

2.2. Phân tích, lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát cho ra đa GPR

2.2.1. Ảnh hưởng của cấu trúc tín hiệu đến các tham số kỹ thuật của ra đa GPR

Xuất phát từ nhiệm vụ và chức năng của ra đa GPR, độ sâu phát hiện và độ phân giải là 2 yêu cầu kỹ thuật được lựa chọn đầu tiên khi thiết kế ra đa GPR. Tất cả các chỉ tiêu kỹ thuật cũng như các giải pháp kỹ thuật được lựa chọn, thực hiện trong ra đa GPR đều nhằm mục đích đảm bảo 2 yêu cầu này. Ảnh hưởng của việc lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát đến các yêu cầu kỹ thuật của ra đa GPR cụ thể như sau: Dải tần làm việc, độ sâu phát hiện, độ phân giải, mức độ phức tạp của hệ thống.

2.2.2. Mối quan hệ giữa dạng tín hiệu phát, độ rộng xung và yêu cầu thiết kế

Tùy thuộc vào cách thức thu thập dữ liệu, ra đa GPR bao gồm 2 loại: ra đa GPR làm việc ở miền thời gian, sử dụng tín hiệu phát dạng xung (ra đa GPR xung) và ra đa GPR làm việc ở miền tần số, sử dụng tín hiệu phát liên tục (ra đa GPR liên tục). Ra đa GPR xung có ưu điểm là cấu trúc đơn giản, khả năng đảm bảo thông tin cao, giá thành sản xuất thấp nhưng nhược điểm độ phân giải bị giới hạn bởi độ rộng xung. Để đảm bảo độ phân giải cao thì yêu cầu độ rộng xung rất hẹp (cỡ ns).

2.2.3. Mối quan hệ giữa tần số trung tâm của tín hiệu phát và yêu cầu thiết kế

Tần số làm việc của ra đa GPR liên quan chặt chẽ với 2 yêu cầu kỹ thuật là độ sâu phát hiện mục tiêu và độ phân giải mục tiêu của. Tần số làm việc càng cao thì độ sâu phát hiện mục tiêu càng giảm, độ phân giải mục tiêu càng tăng (và ngược lại). Độ sâu phát hiện được tính theo công thức [5]:

$$f_c^D < \frac{1200\sqrt{K-1}}{D} \quad (1)$$

Trong đó, f_c^D là tần số làm việc trung tâm (MHz), D là độ sâu làm việc (m), K là hằng số điện môi.

Độ phân giải theo cự ly được tính theo công thức [6]:

$$f_c^R > \frac{75}{\Delta z \sqrt{K}} \quad (2)$$

Trong đó, f_c^R là tần số làm việc trung tâm (MHz), Δz là độ phân giải (m), K là hằng số điện môi.

3. TÍNH TOÁN, THỬ NGHIỆM, THẢO LUẬN

3.1. Tham số kỹ thuật của ra đa GPR cần thiết kế

Phân tích, tính toán, lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát cho ra đa GPR có các tham số kỹ thuật được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Các tham số kỹ thuật của ra đa GPR cần thiết kế.

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
1	Dải tần làm việc	MHz	100 ÷ 1000
2	Độ sâu phát hiện	m	0.1 ÷ 15
3	Độ phân giải (phụ thuộc vào anten được chọn)	m	0.1 ÷ 1
4	Cấu trúc hệ thống		Đơn giản

3.2. Phân tích, tính toán, lựa chọn tham số cấu trúc của tín hiệu phát của ra đa GPR

3.2.1. Phân tích, lựa chọn dạng tín hiệu phát và độ rộng xung đáp ứng yêu cầu thiết kế

Phù hợp với quan điểm thiết kế đã nêu trên bảng 1, ta lựa chọn phương án ra đa GPR xung với các ưu điểm: Cấu trúc đơn giản và giá thành sản xuất thấp. Để hạn chế ảnh hưởng nhiễu đa đường và nâng cao khả năng chống nhiễu cho ra đa GPR, ta sử dụng loại ra đa GPR xung với tín hiệu phát là xung thị tần không sóng mang tương tự như ra đa GPR UWB. Giải pháp này cho phép đơn giản cấu trúc máy thu phát của ra đa GPR. Với các tần số làm việc trung tâm dự kiến lựa chọn là 100 MHz, 500 MHz, 1000 MHz (Phân tích trong mục 3.2.2), độ rộng xung hẹp tương ứng là 10 ns, 2 ns, 1 ns.

3.2.2. Phân tích, tính toán, lựa chọn tần số trung tâm của tín hiệu phát đáp ứng yêu cầu thiết kế

Để dung hoà 2 yêu cầu kỹ thuật độ sâu phát hiện và độ phân giải, việc phát tín hiệu trong 1 dải tần hẹp không đáp ứng được yêu cầu thiết kế. Giải pháp kỹ thuật để khắc phục điều này là sử dụng cơ chế chuyển tần số trong 1 dải tần rộng kết hợp với việc lựa chọn tần số làm việc trung tâm hợp lý. Sử dụng công thức (1) và (2) trong điều kiện hằng số điện môi $K = 5$, kết hợp phân tích, lựa chọn cho thấy trong dải tần làm việc (100 ÷ 1000) MHz các tần số làm việc trung tâm là 100 MHz, 500 MHz, 1000 MHz đáp ứng cầu thiết kế và thuận lợi cho việc tạo xung hẹp tương ứng là 10 ns, 2 ns, 1 ns thể hiện trong bảng 2.

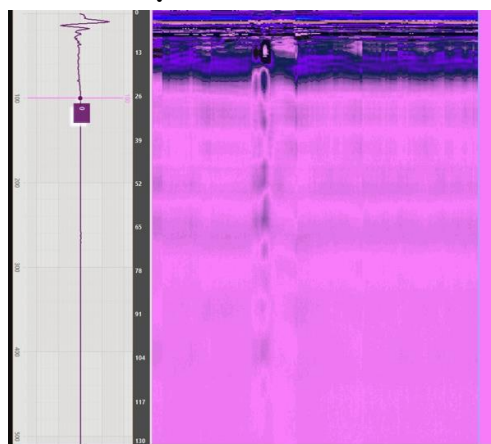
Bảng 2. Độ sâu phát hiện, độ phân giải trong dải tần (100 ÷ 1000) MHz.

STT	Tần số làm việc trung tâm [MHz]	Độ rộng xung phát [ns]	Độ sâu phát hiện hiệu quả [m]	Độ phân giải hiệu quả [m]
1	100	10	≤ 15	≤ 1
2	500	2	≤ 2.5	≤ 0.2
3	1000	1	≤ 1.0	≤ 0.1

3.3. Kết quả thử nghiệm thực tế của ra đa GPR và bình luận



a) Thử nghiệm ra đa GPR trên thực địa.



b) Kết quả màn hình hiển thị khi phát hiện mục tiêu giả định của ra đa GPR.

Hình 2. Dùng ra đa GPR đo phát hiện mục tiêu giả định được chôn ở nhiều độ sâu khác nhau.

Thử nghiệm sử dụng cấu trúc tín hiệu phát trên ra đa GPR trong điều kiện thực tế để phát hiện mục tiêu giả định được chôn cách mặt đất ở nhiều dải độ sâu khác nhau như hình 2. Kết quả thử nghiệm thực tế được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Kết quả thử nghiệm ra đa GPR.

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
1	Độ sâu phát hiện	m	0.1 ÷ 15
2	Độ phân giải	m	0.1 ÷ 1

Kết quả thử nghiệm thực tế cho thấy ra đa GPR sử dụng tín hiệu phát dạng xung hẹp với các tần số làm việc trung tâm là 100 MHz, 500 MHz, 1000 MHz đáp ứng yêu cầu về độ sâu phát hiện là (0.1 ÷ 15) m và độ phân giải là (0.1 ÷ 1) m phù hợp tính toán lý thuyết.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên yêu cầu thiết kế ra đa GPR: Dải tần làm việc (100 ÷ 1000) MHz, độ sâu phát hiện (0.1 - 15) m, độ phân giải (0.1 - 1) m, cấu trúc hệ thống đơn giản,... Nhóm tác giả đã tiến hành phân tích, tính toán, lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát trên ra đa GPR. Kết quả phân tích, tính toán, lựa chọn cho thấy: Trong dải tần làm việc (100 ÷ 1000) MHz, tín hiệu phát dạng xung hẹp 10ns, 2ns, 1ns tương ứng với các tần số làm việc trung tâm là 100 MHz, 500 MHz, 1000 MHz đáp ứng yêu cầu thiết kế. Kết quả thử nghiệm thực tế ở thực địa cho kết quả tương ứng chứng tỏ sự phù hợp giữa cơ sở lý thuyết và thực tế thiết kế, chế tạo. Giải pháp phân tích, lựa chọn cấu trúc tín hiệu phát có ý nghĩa quan trọng không chỉ áp dụng trên ra đa GPR mà còn có tính ứng dụng cao trong tính toán thiết kế các loại ra đa khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Harry. M. JOL, "Ground Penetrating Radar Theory and Applications," Elsevier Science, pp. 4-5, (2009).
- [2]. Davis. J. L, & Annan. A. P, "Ground- penetrating radar for high- resolution mapping of soil and rock stratigraphy I". Geophysical prospecting, pp. 37, 531-551, (1989).
- [3]. Nurul Jihan Farhah Bostanudin, "Computational Methods for Processing Ground Penetrating Radar Data", University of Portsmouth, pp. 58, (2013).
- [4]. Richard C. Johnson, "Antenna engineering handbook", Georgia Institute of Technology, pp. 682-749, (1993).
- [5]. Annan, A. P, "Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures & Applications", Sensors & Software. Inc Mississauga, pp. 146-147, (2004).

ABSTRACT

Analysis and selection of signal structure for ground-penetrating radar

Ground-penetrating radar has been studied and applied in detecting metal objects at various depths. To ensure that, ground-penetrating radars need to be optimized for the signal structure for each different depth range. This paper presents the principles of analysis and selection of signal structure for ground-penetrating radar systems in the frequency range of 100-1000 MHz. The results of the analysis of the operating principles, calculations, and practical tests show that the selection of the transmitter signal structure determines the detection depth, resolution, etc., according to the design requirements to meet the requirements. operate on ground-penetrating radar.

Keywords: Radar GPR; Signal; Signal structure.