NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP MỞ RỘNG DẢI THÔNG CHO ANTEN DẠNG DIPOLE NỬA SÓNG SỬ DỤNG TRÊN RA ĐA XUYÊN ĐẤT

Võ Xung Hà [1], Phương Văn Quang, Trần Mạnh Quý, Bùi Thanh Hồng

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 đó, các loại ra đa xuyên đất cần được trang bị các loại anten có dải thông lớn. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày giải pháp kỹ thuật nhằm mở rộng dải thông của anten ở tần số 900 MHz bằng việc cải tiến anten dipole nửa sóng về dạng anten dipole bowtie. Kết quả phân tích nguyên lý hoạt động, tính toán và mô phỏng trên phần mềm CST 2019 cho thấy dải thông của anten dipole nửa sóng thông thường được mở rộng đáng kể khi cải tiến về dạng anten dipole bowtie nhằm đáp ứng yêu cầu hoạt động trên ra đa xuyên đất.*

Từ khóa: Ra đa GPR; Anten GPR; Dipole.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

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 từ những năm 1980. Ra đa GPR sử dụng sóng vô tuyến để thăm dò địa chất hoặc một môi trường bất kỳ có tổn 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. Do tính bảo mật công nghệ nên các nghiên cứu này không được công bố chi tiết và trở thành bí quyết công nghệ của các nhà sản xuất. Các thiết kế anten của ra đa xuyên đất hiện có thường sử dụng nhiều loại anten như: anten loa, anten gương, anten khe, mạng anten,... Các loại anten này đáp ứng được những yêu cầu về dải thông của anten sử dụng trên ra đa xuyên đất. Tuy nhiên, chúng có kết cấu phức tạp, khó gia công chế tạo, giá thành sản xuất cao. Mặt khác, kích thước các loại anten này tương đối lớn, chưa tối ưu cho sức vóc người Việt Nam và môi trường hoạt động trên địa hình bán sơn địa như ở nước ta. Vì vậy, việc nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật nhằm mở rộng dải thông và thu gọn kích thước vật lý của anten có ý nghĩa quan trọng trong nghiên cứu thiết kế ra đa xuyên đất ở Việt Nam. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày giải pháp kỹ thuật nhằm mở rộng dải thông của anten ở tần số 900 MHz bằng việc cải tiến anten dipole nửa sóng thông thường về dạng anten dipole bowtie.

2. NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP MỞ RỘNG DẢI THÔNG CỦA ANTEN DẠNG DIPOLE NỬA SÓNG TRÊN RA ĐA XUYÊN ĐẤT

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

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 [1]. Sóng phản xạ lại được ghi nhận bởi anten thu và lưu trữ trong bộ nhớ của thiết bị để sử dụng cho xử lý và phân tích về sau. Anten phát có nhiệm vụ biến đổi sóng điện từ truyền trong phide thành sóng điện từ tự do bức xạ vào mặt đất [1]. Cấu tạo của anten quyết định đặc tính biến đổi năng lượng điện từ nói trên.

2.2. Phương pháp mở rộng dải thông của anten dipole nửa sóng trên ra đa xuyên đất

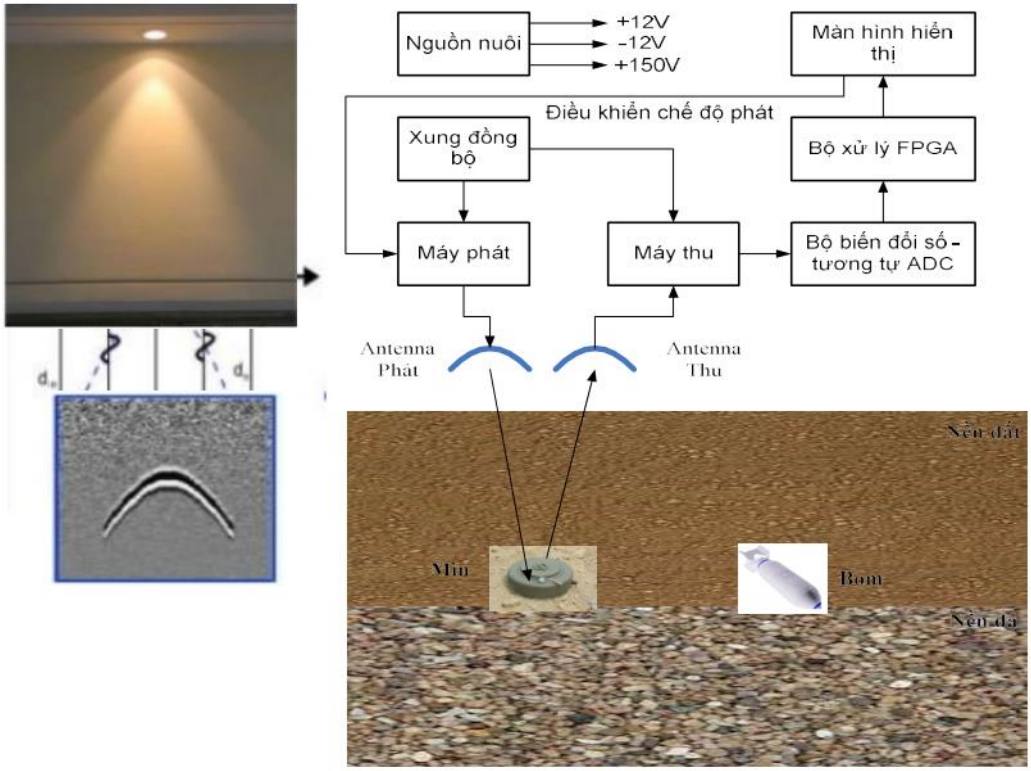
Dải thông được xem xét là khoảng tần số mà ở đó hiệu suất của anten thỏa mãn một tiêu chuẩn nhất định. Thông thường trong dải thông, một số đặc tính anten như trở kháng vào, giản đồ, độ rộng chùm, phân cực, mức thùy bên, hệ số tăng ích, hướng chùm, hiệu suất bức xạ,... phải đạt giá trị có thể chấp nhận được theo tiêu chuẩn thiết kế [2]. Đối với trường hợp anten của ra đa

xuyên đất, dải thông được được xác định dựa trên hai tiêu chuẩn :

+ Dải tần số đảm bảo hệ số S11 của anten nhỏ hơn -3 dB ;

+ Dải tần số đảm bảo giản đồ hướng phát xạ ở mức 3 dB có độ rộng trong khoảng $90^o \pm 10^{o.}$

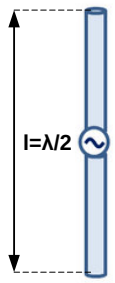
Phương pháp mở rộng dải thông của anten trên ra đa xuyên đất được thực hiện bằng giải pháp cải tiến anten dạng dipole nửa sóng thông thường về dạng dipole bowtie làm biến đổi từ từ thiết diện anten [3].



Hình 1. *Nguyên lý làm việc của hệ thống ra đa xuyên đất GPR.*

Hệ thống anten được chế tạo cho ra đa xuyên đất mang những đặc trưng chuyên biệt của loại anten hoạt động trong môi trường địa chất có tính chất điện môi không đồng nhất và có sự suy hao lớn. Khác với anten của các loại ra đa thông thường, đối với anten của ra đa xuyên đất nói chung búp sóng chính có thể rộng khoảng 90^o. Chính đặc điểm thiết kế này giới hạn một số chủng loại anten có thể sử dụng trên ra đa xuyên đất.

Các anten dạng dipole nửa sóng có ưu điểm là đơn giản, dễ chế tạo, dạng giản đồ hướng phát xạ nguyên bản có độ rộng xấp xỉ 90^o nên kết cấu tổng thể của anten tinh gọn. Nhược điểm của của chủng loại anten này dải thông hẹp và hệ số khuếch đại thấp. Tuy nhiên, khác với các loại ra đa thông thường, ra đa xuyên đất có điều kiện hoạt động đặc thù trong môi trường địa chất đạt độ sâu tối đa chỉ 15 m nên yêu cầu về hệ số khuếch đại không cao. Dipole nửa sóng thường có cấu tạo gồm một dây dẫn thẳng có chiều dài $l = \frac{\lambda}{2}$ được kích thích bởi nguồn thông qua đường phide đến điểm giữa đoạn dây [3] như hình 2.



Hình 2. *Cấu tạo của dipole nửa sóng.*

Trở kháng sóng của dipole trong trường hợp tổng quát

khi $l \le \lambda$ được tính theo công thức:

$$\rho_d = 120(\ln\frac{l}{a} - 1) \quad (1)$$

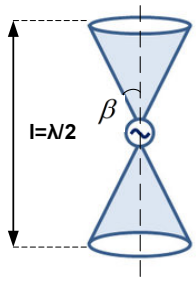
Trong đó: ρ_d là trở kháng sóng của dipole, l là chiều dài của của dipole, a là bán kính của dipole, λ là bước sóng trong không gian tự do.

Khi tăng dần chiều dài của dipole, sai số của công thức 1 sẽ tăng lên. Trong trường hợp tổng quát khi $l > \lambda$ trở kháng sóng của dipole được tính theo công thức:

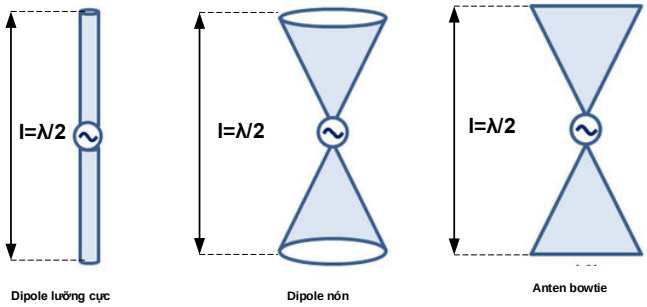
$$\rho_d = 120(\ln\frac{\lambda}{\pi a} - E) \quad (2)$$

Trong đó: ρ_d là trở kháng sóng của dipole, l là chiều dài của của dipole, a là bán kính của dipole, λ là bước sóng trong không gian tự do, E là hằng số Ơler.

Bức xạ của dipole nửa sóng là xếp chồng của bức xạ trực tiếp từ điểm cấp nguồn (bức xạ của sóng tới) và nhiễu xạ mạnh từ điểm cuối của dipole. Mối quan hệ về biên độ và pha của sóng tới và sóng nhiễu xạ xác định đồ thị bức xạ và đặc tính trở kháng của dipole nửa sóng. Cũng vì sự liên hệ mật thiết về pha giữa các sóng này mà dipole nửa sóng nói riêng và dipole hertz nói chung có đặc tính bức xạ phụ thuộc tần số, do đó băng thông không rộng. Để khắc phục vấn đề này, giải pháp được đưa ra là biến đổi dipole nửa sóng về dạng dipole nón. Dipole nón là một biến thể của anten dipole nửa sóng, mà cấu trúc dẫn điện có độ dày tăng tuyến tính theo khoảng cách từ tâm anten như hình 3.



Hình 3. *Cấu tạo của Dipole nón.*



Hình 4. *Mối quan hệ của dipole bowtie và họ dipole.*

Cấu trúc hình học của Dipole nón được định nghĩa và quản lý hoàn toàn bằng góc mở của nón. Do đó, anten nón chiều dài vô hạn thỏa mãn tính chất của anten độc lập tần số nên đây là anten băng rộng. Trong thực tế, các anten này thường có độ dài hữu hạn và băng thông của nó cũng trở nên hữu hạn. Việc cắt bớt chiều dài anten sẽ ảnh hưởng đến giới hạn đáp ứng tần số thấp của anten. Giới hạn tần số cao của anten sẽ bị ảnh hưởng bởi kích thước vùng tiếp điện. Trở kháng sóng của dipole nón trong trường hợp tổng quát được tính theo công thức:

$$\rho_d = 276\lg(\cot g\frac{\beta}{2}) \quad (3)$$

Trong đó: ρ_d là trở kháng sóng của dipole, β là góc mở của dipole nón.

Mặt khác, dipole nón có một nhược điểm là khối lượng lớn, cồng kềnh, khó chế tạo. Giải pháp tiếp theo được đưa ra là biến đổi dạng dipole nón về dạng dipole bowtie như hình 4.

Xét về mặt cấu trúc, thực chất dipole bowtie là mặt cắt phẳng của dipole nón. Do đó, về cơ bản đặc tính bức xạ của nó tương tự anten dipole nửa sóng. Nó có ưu điểm là vẫn giữ được một

số đặc tính về điện của dipole nón và dễ chế tạo hơn. Bằng cách biến đổi dipole nửa sóng thành dipole bowtie các nguồn sóng nhiễu xạ sẽ trở thành các cạnh và góc của anten, sự liên hệ về pha do đó giảm đáng kể, băng thông anten trở nên rộng hơn.

3. MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ GIẢI PHÁP MỞ RỘNG DẢI THÔNG CỦA ANTEN DẠNG DIPOLE NỬA SÓNG TRÊN RA ĐA XUYÊN ĐẤT

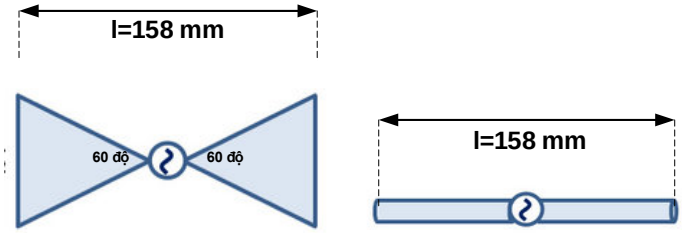
3.1. Số liệu đầu vào

Xây dựng mô hình 3D của 2 mẫu dipole nửa sóng và dipole bowtie hoạt động ở tần số trung tâm tần số $f_{0=}$ 900 MHz. Hai mẫu dipole có cùng độ dài thiết kế theo tần số $f_{0=}$ 900 MHz là:

$$l = \frac{k.\lambda}{2} = \frac{k.c.f_0}{2} \approx 158mm \quad (4)$$

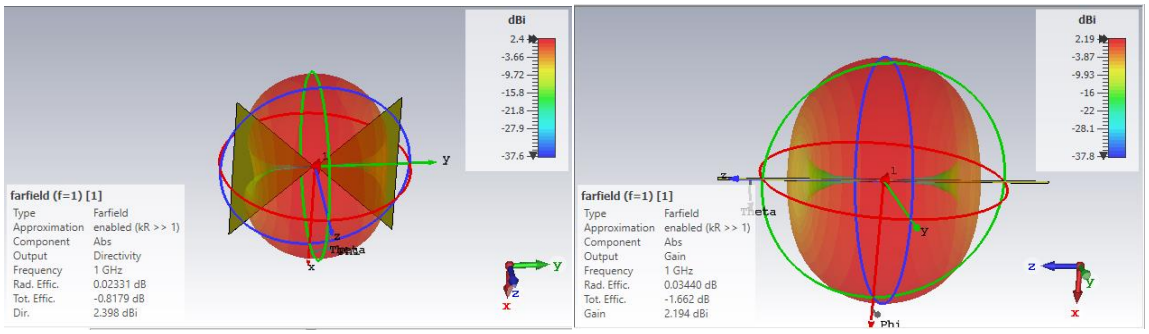
Trong đó: l là chiều dài của của dipole, λ là bước sóng trong không gian tự do, $K \approx 0.95$ là hệ số bù "Hiệu ứng biên" ở cuối dipole làm tăng chiều dài hiệu dụng của dipole, f_0 là tần số trung tâm.

Xây dựng mô hình dipole bowtie với góc mở 60^o, độ dày lớp đồng 0.035 mm và mô hình dipole nửa sóng ở dạng hình trụ bằng đồng tròn xoay với đường kính 1 mm. Các đồ thị bức xạ của dipole bowtie và dipole lưỡng cực được thiết kế với trở kháng vào lần lượt là 250 Ω (góc mở 60 ^{o}, ở góc mở này đồ thị bức xạ của anten ít thay đổi nhất) và 50 Ω,...



Hình 5. *Xây dựng mô hình dipole bowtie và dipole nửa sóng tại tần số $f_{0=}$ 900 MHz.*

3.2. Phương pháp, công cụ mô phỏng



Dipole bowtie Dipole nửa sóng

Hình 6. *Mô phỏng tham số điện từ trường của mô hình dipole bowtie và dipole nửa sóng trên phần mềm CST 2019.*

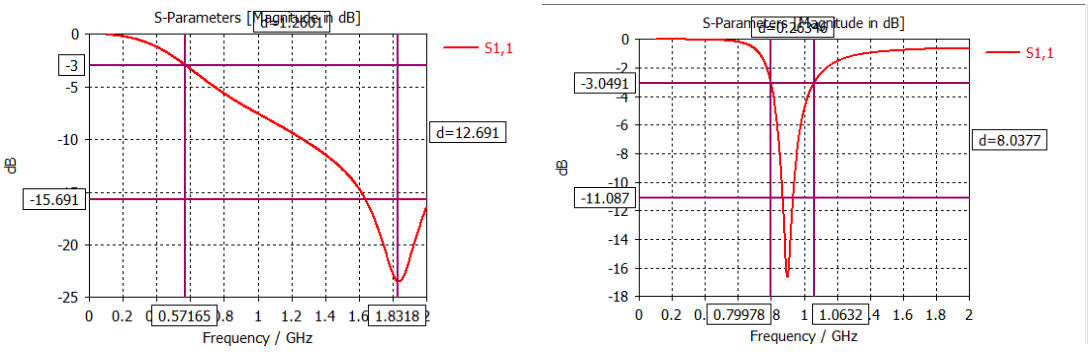
Thực hiện mô phỏng, đánh giá hiệu quả mở rộng dải thông của mẫu dipole bowtie so với mẫu dipole nửa sóng ở tần số $f_{0=}$900 MHz trên phần mềm CST 2019 ở dải tần từ 0 đến 2000 MHz như hình 6. Dựa trên kết quả mô phỏng đánh giá hiệu quả mở rộng dải thông trên cả hai tiêu chuẩn:

+ Dải tần số đảm bảo hệ số S11 của anten nhỏ hơn -3 dB ;

+ Dải tần số đảm bảo giản đồ hướng phát xạ ở mức 3 dB có độ rộng trong khoảng 90^o ± 10^o.

3.3. Kết quả mô phỏng và bình luận

Kết quả mô phỏng dải thông theo tiêu chuẩn dải tần số đảm bảo hệ số S11 của anten nhỏ hơn -3 dB thể hiện trong hình 7.



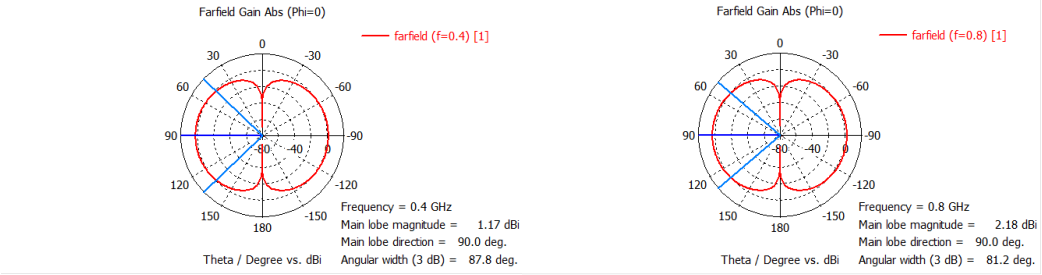
Dipole bowtie Dipole nửa sóng

Hình 7. *Kết quả mô phỏng dải thông theo dải tần số đảm bảo hệ số S11 của anten nhỏ hơn -3 dB của dipole bowtie và dipole nửa sóng.*

Từ kết quả mô phỏng cho thấy:

- Dải thông anten theo tiêu chuẩn hệ số S11 của anten nhỏ hơn -3 dB của dipole bowtie từ 570 MHz đến 2000 MHz. Dải thông đạt ít nhất 158% do thực tế mô phỏng dải tần số đạt tiêu chuẩn này vượt ngoài khoảng khảo sát từ 570 MHz đến 2000 MHz;

- Dải thông anten theo tiêu chuẩn hệ số S11 của anten nhỏ hơn -3 dB của dipole nửa sóng thông thường từ 799 MHz đến 1063 MHz. Dải thông đạt 29.3%.



Hình 8. *Kết quả mô phỏng tần số cận trên và cận dưới của dải thông theo tiêu chuẩn dải tần số đảm bảo giản đồ hướng phát xạ ở mức 3 dB có độ rộng trong khoảng $90^o \pm 10^o$ của dipole nửa sóng.*

Kết quả mô phỏng dải thông theo tiêu chuẩn dải tần số đảm bảo giản đồ hướng phát xạ ở mức 3 dB có độ rộng trong khoảng $90^o \pm 10^o$. Kết quả mô phỏng dải tần số của dipole nửa sóng thể hiện trong hình 8.

Kết quả mô phỏng dải tần số của dipole bowtie thể hiện trong hình 9.

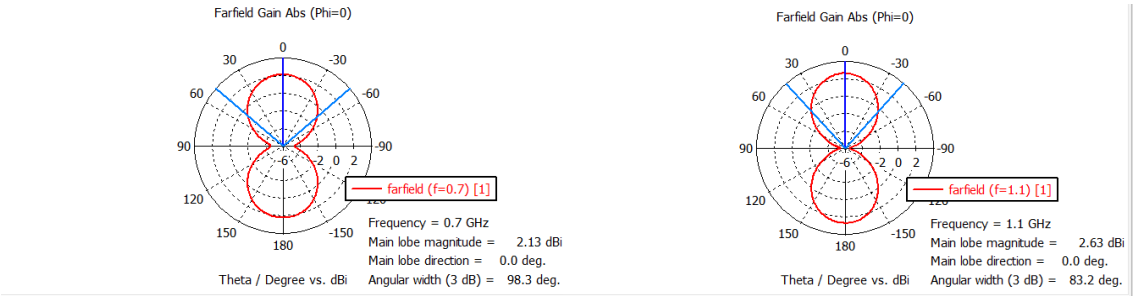
Từ kết quả mô phỏng cho thấy:

- Dải thông anten theo tiêu chuẩn dải tần số đảm bảo giản đồ hướng phát xạ ở mức 3 dB có độ rộng trong khoảng $90^o \pm 10^o$ của dipole bowtie từ 700 MHz đến 1100 MHz. Dải thông theo tiêu chuẩn này đạt 44 %;

- Dải thông anten theo tiêu chuẩn dải tần số đảm bảo giản đồ hướng phát xạ ở mức 3 dB có độ rộng trong khoảng $90^o \pm 10^o$ của dipole nửa sóng từ 400 MHz đến 800 MHz. Dải thông theo tiêu chuẩn này có xu hướng lệch ra khỏi tần số trung tâm $f_{0=}$900 MHz.

Tổng hợp kết quả mô phỏng cho thấy, phương pháp biến đổi dipole nửa sóng về dạng dipole bowtie đem lại hiệu quả mở rộng dải thông rõ rệt theo cả hai tiêu chuẩn đánh giá so với dipole nửa sóng nguyên bản. Nội dung mô phỏng thể hiện sự tương đồng giữa lý thuyết về kết quả mô

phỏng. Đây là cơ sở bước đầu đóng vai trò quan trọng cho việc hoàn thiện thiết kế chế tạo các mẫu anten dải rộng trên ra đa xuyên đất.



Hình 9. *Kết quả mô phỏng tần số cận trên và cận dưới của dải thông theo tiêu chuẩn dải tần số đảm bảo giản đồ hướng phát xạ ở mức 3 dB có độ rộng trong khoảng $90^o \pm 10^o$ của dipole bowtie.*

4. KẾT LUẬN

Trên đây, nhóm tác giả vừa trình bày một cách tổng quan về phương pháp mở rộng dải thông của anten sử dụng trên ra đa xuyên đất bằng cách cải tiến anten dạng dipole nửa sóng về dạng anten dipole bowtie. Bằng phương pháp phân tích cơ sở lý thuyết anten dạng dipole nửa sóng và thực hiện mô phỏng trên phần mềm CST 2019 nhằm đánh giá hiệu quả mở rộng dải thông của mẫu dipole bowtie so với mẫu dipole nửa sóng thông thường. Kết quả cho thấy, anten dạng dipole bowtie có dải thông được mở rộng đáng kể so với dipole nửa sóng thông thường. Những kết quả này là tiền đề cho việc nghiên cứu ứng dụng anten dipole bowtie một cách toàn diện không chỉ trên ra đa xuyên đất mà còn có tiềm năng ứng dụng trong các sản phẩm quân sự sau này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nurul Jihan Farhah Bostanudin, *"Computational Methods for Processing Ground Penetrating Radar Data"*, University of Portsmouth (2013), pp. 58.
[2]. Hoàng Đình Thuyên, *"Anten"*, Học Viện Kỹ thuật quân sự (2003), tr.30.
[3]. Phan Anh, *"Lý thuyết và kỹ thuật Anten"*, Nhà Xuất bản Khoa học Kỹ thuật (2000), tr.247, tr.36-54.

ABSTRACT

RESEARCHING THE SOLUTIONS FOR EXPANDING THE BANDWIDTH OF HALF-WAVELENGTH DIPOLE ANTENNAS APPLIED IN GROUND-PENETRATING RADAR SYSTEMS

Ground-penetrating radar systems have been researched and applied in detecting metal objects at different depth ranges. To ensure their ability, ground-penetrating radar systems need to be equipped with high-bandwidth antennas. In this paper, we present a technical solution to extend the antenna bandwidth at 900 MHz by improving the half-wave dipole antenna to a bowtie dipole antenna. The analysis of operating principles and calculation, simulation on CST 2019 software show that the bandwidth of antennas is significantly expanded when changing from the ordinary half-wave dipole form to the bowtie dipole form. This aims at meeting the specific requirements of ground-penetrating radar systems.

Keywords: Radar GPR; Anten GPR; Dipole.

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

Địa chỉ: Viện Ra đa, Viện KH-CN quân sự.
*Email: phuongquangmta@gmail.com.