

ĂNG TEN LOA CẢI TIẾN CHO CÁC ỨNG DỤNG TRUYỀN THÔNG BĂNG SIÊU RỘNG

Nguyễn Việt Hưng, Phạm Anh Thư
 Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

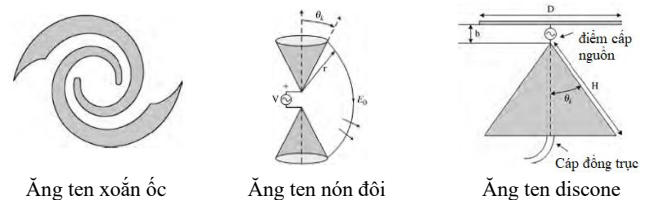
Tóm tắt: Bài báo này đề xuất 1 cấu trúc ăng ten băng siêu rộng dựa cấu trúc ăng ten loa TEM và áp dụng kỹ thuật sóng chạy (travelling wave) để thu nhỏ kích thước đồng thời nâng cao hiệu suất hoạt động của ăng ten. Cấu trúc đề xuất đạt được có kích thước nhỏ gọn, băng thông rộng trong dải từ 1GHz đến 8GHz, hiệu suất bức xạ cao và hệ số khuếch đại lớn (7-12 dBi) trên toàn bộ dải tần hoạt động.

Từ khóa: anten băng siêu rộng, UWB, TEM, Ăng ten loa, kỹ thuật sóng chạy.

I. MỞ ĐẦU

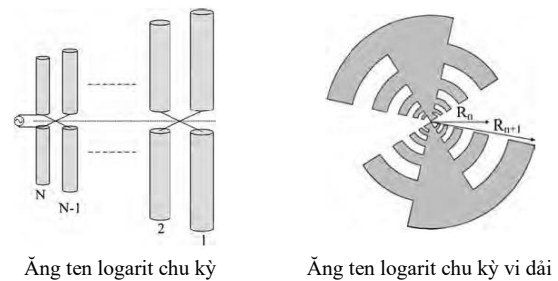
Trong những năm gần đây, việc ứng dụng công nghệ truyền thông băng siêu rộng UWB trong các hệ thống truyền tin không dây cự ly ngắn như mạng cảm biến, thiết bị định vị trong nhà phân giải cao, truyền tin cự ly ngắn tốc độ cao... [1]–[6]. Không giống như các hệ thống băng hẹp truyền thống, hệ thống UWB sử dụng các xung siêu ngắn cỡ nano giây, tương ứng với các tín hiệu băng tần siêu rộng cỡ vài gigahertz [1], [2]. Việc sử dụng dụng các tín hiệu xung băng tần siêu rộng đòi hỏi các hệ thống UWB cần có các ăng ten thu phát với dải tần siêu rộng được thiết kế phù hợp để tăng cường hiệu năng thu phát của các tín hiệu xung siêu ngắn trong các ứng dụng truyền thông, định vị và cảm biến.

Các giải pháp thiết kế ăng ten UWB thường dựa trên 2 nguyên lý cơ bản chính đó là độc lập tần số và đồng dạng tuần tự. Nguyên lý ăng ten độc lập tần số dựa trên nguyên tắc Rumsey [7], theo đó một ăng ten có dạng hình học hoàn toàn được xác định bằng các góc sẽ hoạt động độc lập với tần số, cấu trúc hình học được duy trì ở các bậc khác nhau xác định các bước sóng hoạt động khác nhau. Nguyên tắc này yêu cầu ăng ten có kích thước vô hạn để thực sự độc lập tần số nhưng trong thực tế do sự hữu hạn của kích thước, dải tần hoạt động của ăng ten vẫn có sự giới hạn [8]. Các thiết kế ăng ten phổ biến thường được sử dụng để tạo ra băng thông siêu rộng theo nguyên lý này có thể kể đến như ăng ten xoắn ốc, ăng ten nón đôi, ăng ten discone [9]...



Hình 1: Ăng ten độc lập tần số [7].

Nguyên lý đồng dạng tuần tự thể hiện ở việc cấu trúc của ăng ten xuất phát từ một cell ban đầu, các cell khác lặp lại hình dạng nhưng có kích thước lớn dần theo một hệ số mở rộng nhất định. Biểu hình cho nguyên lý này chính là ăng ten logarit chu kỳ.



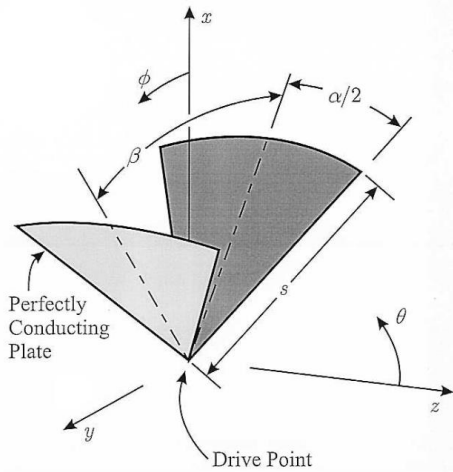
Hình 2: Ăng ten đồng dạng tuần tự [7].

Một cấu trúc ăng ten rất phổ biến khi nhắc đến các thiết kế UWB là ăng ten loa. Dựa trên nguyên lý độc lập tần số, ăng ten loa có ưu điểm là băng tần rộng cùng với độ lợi cao trên toàn băng. Các thiết kế ăng ten dạng 2D, vi dải, thước rất khó đạt được ưu điểm này. Do đó, cấu trúc ăng ten loa thường được sử dụng để thiết kế cho ăng ten thu cho các hệ thống đòi hỏi độ nhạy cao và băng tần siêu rộng. Nhược điểm của thiết kế ăng ten loa cơ bản là kích thước lớn và tâm pha không có định dẫn đến độ lợi không ổn định trên toàn băng. Mục đích nghiên cứu trong bài báo là đề xuất một cấu trúc ăng ten loa cải tiến với mong muốn vừa thu nhỏ kích thước tổng thể của ăng ten, vừa đảm bảo băng tần siêu rộng và độ lợi cao ổn định trên toàn băng. Giải pháp đề xuất là sử dụng thiết kế ăng ten loa TEM kết hợp với nguyên lý ăng ten sóng chạy.

Tác giả liên hệ: Nguyễn Việt Hưng.

Email: nvhung_vt1@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 11/2022, chỉnh sửa: 02/2023, chấp nhận đăng: 03/2023.



Hình 3: Cấu trúc hình học của ăng ten loa TEM [10]

Ăng ten loa TEM là một cấu trúc quan trọng thường được sử dụng trong các hệ thống UWB [11]. Nó có tâm pha cố định và bức xạ có tính hướng cao rất thích hợp cho ứng dụng làm ăng ten thu trong các hệ thống thu phát xung theo thời gian [12]. Cấu trúc cơ bản của nó được tạo bởi đường dẫn sóng dạng hai tấm phẳng song song mở theo một góc nhất định tạo thành dạng loa như Hình 3.

Trở kháng đặc trưng Z_c của ăng ten loa TEM được Lee và các cộng sự nghiên cứu trong [10]:

$$Z_c = \frac{\eta_0 K(m_1)}{2 K(m)} \quad (1)$$

Trong đó:

η_0 : Trở kháng sóng trong không gian tự do. $\eta_0 = 120\pi$

$K(m)$: Tích phân elip toàn phần bậc một

$$K(m) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{\sqrt{1-m\sin^2\theta}} \quad (2)$$

$m_1 = m - 1$ là phần bù của m

Hệ số đặc trưng n được tính theo sự lựa chọn góc mở giữa hai tấm phẳng β

$$n = (m)\text{sn}^2\left[K(m)\left(1-\frac{\beta}{\pi}\right)\middle|m\right] \quad (3)$$

Trong đó sn là hàm elip Jacobian: $\text{sn}(u|m) = \sin \varphi$ với u, m, φ liên hệ với nhau qua hàm tích phân elip không toàn phần bậc một $u = F(\varphi|m)$

$$F(\varphi|m) = \int_0^{\varphi} \frac{d\theta}{\sqrt{1-m\sin^2\theta}} \quad (4)$$

Góc mở của các tấm phẳng α được tính bởi công thức:

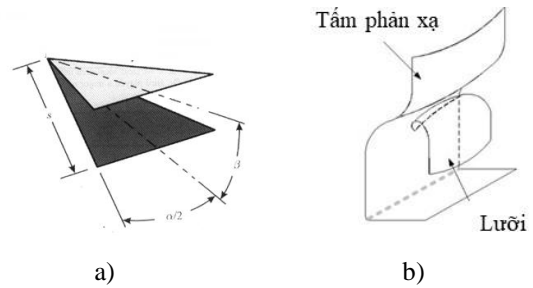
$$\alpha = 2\arcsin\left(\frac{R^2-1}{R^2+1}\right) \quad (5)$$

Trong đó tham số R và các tham số khác liên quan được Lee và các cộng sự diễn giải chi tiết trong [10]

Một số thiết kế cải tiến đối với ăng ten loa TEM đã được đề xuất trong [13]–[16]. Các thiết kế này đều nhắm đến việc thu nhỏ kích thước ăng ten đồng thời vẫn giữ được hoặc

tăng hiệu năng bức xạ. Đáng chú ý, trong công bố của mình, Boryssenko và các cộng sự [13] đề xuất một thiết kế dựa trên một loại ăng ten có độ phân tán thấp có mặt phát xạ xung UWB khác biệt so với các bộ phát xạ UWB đã biết. Ăng ten này được hình thành bởi hai tấm kim loại song song dần dần tách ra theo hai hướng ngược nhau đóng vai trò là mặt phản xạ (Reflector), mặt phát xạ nằm ở giữa được gọi là “Lưỡi” đóng vai trò là mặt phát xạ, (Hình 2b).

Thiết kế ăng ten này sử dụng nguyên lý của một mặt bức xạ băng rộng, nó phải hoạt động như một bộ chuyển đổi được phối hợp trở kháng tốt trên băng rộng, để dòng kích thích tại cổng cấp điện chuyển thành trường bức xạ tại mặt mở của ăng ten và tạo ra năng lượng bức xạ trong không gian theo một mật độ mong muốn. Bộ chuyển đổi này được tạo ra bởi hai tấm phẳng dạng tam giác có đáy mở rộng dần, có cấu trúc hình học thích hợp. Cụ thể, tấm thứ nhất, kích thước lớn hơn, được gọi là “tấm phản xạ”. Tấm thứ hai, kích thước nhỏ hơn, được gọi là “lưỡi”, và là bộ phận bức xạ sóng điện từ



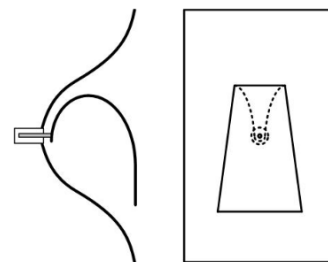
Hình 4: Ăng ten loa TEM cổ điển a) và Ăng ten loa TEM “Lưỡi” b).

Trong bài báo này, thiết kế chúng tôi đề xuất nối ngắn mạch tấm lưỡi xuống mặt đất, đây là giải pháp để thu nhỏ kích thước ăng ten mà vẫn đảm bảo được các yếu tố hiệu năng như băng thông và độ lợi. Ngoài ra thiết kế này cũng giúp kết cấu ăng ten vững chắc hơn do tấm lưỡi được giữ cố định.

Các phần tiếp theo của bài báo được bố cục như sau. Phần II mô tả cơ sở lý thuyết và thiết kế cấu trúc ăng ten đề xuất. Các kết quả mô phỏng và đo mẫu ăng ten thử nghiệm được trình bày trong phần III. Kết luận về các kết quả nghiên cứu sẽ được trình bày trong phần IV.

II. THIẾT KẾ ĂNG TEN ĐỀ XUẤT

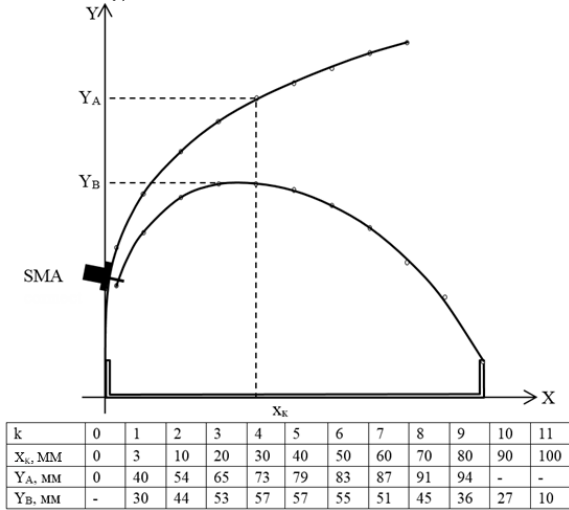
Trong công trình của mình Boryssenko và các cộng sự [13] đề xuất một thiết kế sử dụng 2 tấm phản xạ đối xứng kết hợp với một “lưỡi” đóng vai trò là phần tử bức xạ. Mục đích thiết kế là tăng băng thông của ăng ten thông qua cải thiện phối hợp trở kháng tại dải tần thấp, đồng thời tạo đồ thị bức xạ đối xứng trong mặt phẳng E.



Hình 5: Thiết kế đề xuất sử dụng tấm phản xạ và “lưỡi” [13]

Thiết kế đề xuất của Boryszenko đạt được dải tần hoạt động tương đối rộng từ 3GHz đến 10 GHz với độ lợi đều trong toàn bộ dải tần. Tuy nhiên giá trị độ lợi đạt được còn tương đối thấp ~ 5dBi

Trong bài báo này, thiết kế chúng tôi đề xuất nối ngắn mạch tấm lưới xuống mặt đất. Thiết kế này dựa trên nguyên lý của ăng ten sóng chạy [17], [18]. Đây là giải pháp để thu nhỏ kích thước ăng ten mà vẫn đảm bảo được các yếu tố hiệu năng như băng thông và độ lợi. Ngoài ra thiết kế này cũng giúp kết cấu ăng ten vững chắc hơn do tấm lưới được giữ cố định. Việc cấp điện cho ăng ten được thể hiện trong Hình 6 trong đó đầu nối cáp đồng trục UHF 50-Ω thông qua một đầu SMA, được gắn từ mặt sau của nó, mặt đế được hàn với tấm phản xạ, và đầu trục của cáp được nối với tấm bức xạ, tấm “lưới”.



Hình 6: Tham số thiết kế của mẫu ăng ten đề xuất

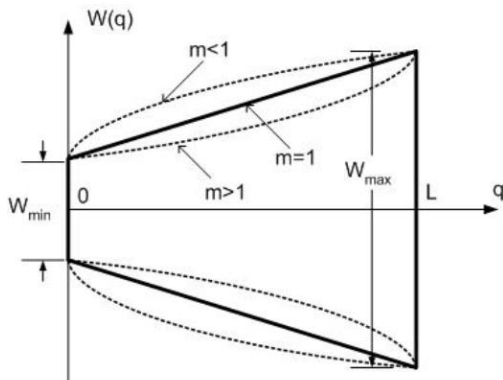
Phương trình mô tả dạng hình học của tấm phản xạ và tấm “lưới” dựa trên phân tích chi tiết trong [13]. Trong đó, độ rộng của tấm phản xạ là không đổi, hình dạng của tấm phản xạ được mô tả bởi phương trình sau:

$$F(x, y) = 0 \Leftrightarrow \left(\frac{x-a}{a}\right)^n + \left(\frac{y-b}{b}\right)^n = 1 \quad (6)$$

$$0 \leq x \leq a; \quad 0 \leq y \leq b$$

Trong đó a toạ độ điểm bắt đầu trên trục x và b là toạ độ điểm kết thúc trên trục y.

Tấm lưới có độ rộng thay đổi tăng dần từ góc ra ngoài như mô tả trong Hình 7



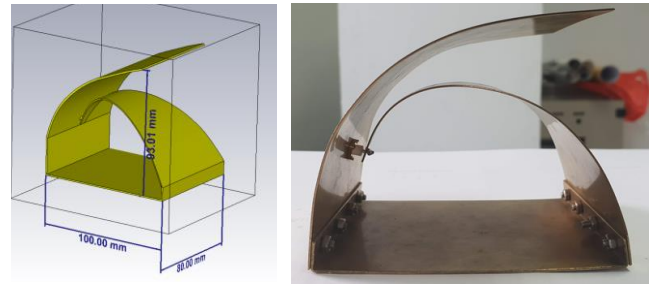
Hình 7: Tham số kích thước của tấm “lưới”

Phương trình mô tả hình dáng tấm lưới dựa trên độ rộng của nó tại mỗi toạ độ q, $W(q)$:

$$W(q) = W_{\min} + \left[\frac{q}{L}\right]^m (W_{\max} - W_{\min}) \quad (6)$$

Trong đó các đại lượng W_{\min} và W_{\max} xác định giới hạn phần chiều rộng tại hai đầu của tấm “lưới”. Hệ số mũ m tạo ra dáng điệu của mép ngoài của tấm lưới, L là độ dài cực đại của tấm lưới dọc theo chiều dài của nó trước khi nó được bẻ thẳng xuống để nối với tấm mặt đất phía dưới.

Việc tối ưu các tham số của ăng ten dựa trên việc thay đổi các tham số hình học và xem ảnh hưởng của chúng đến trở kháng của ăng ten, cụ thể là dải băng tần 50Ω, thông qua phần mềm mô phỏng CST. Kết quả tham số hình học tối ưu của ăng ten được trình bày trong Hình 8 dưới dạng toạ độ theo từng điểm để thuận tiện cho việc chế tạo cơ khí. Tấm lưới có các tham số $W_{\min} = 1\text{mm}$, $W_{\max} = 80\text{mm}$, $L = 100\text{mm}$, m được chọn bằng 1. Nghĩa là cạnh 2 bên được cắt thẳng, tạo ra hình chiếu xuống mặt đáy là hình tam giác.



Hình 8: a) Mô hình mô phỏng, b) Hình ảnh chế tạo thực tế

Kích thước tổng thể của ăng ten là 100 x 80 x 94mm (Dài x Rộng x Cao). Ăng ten được chế tạo từ vật liệu đồng thau có độ dày 1mm. Kích thước đường cong tối ưu được thể hiện trong Hình 4. Một số lưu ý trong quá trình thiết kế ăng ten như sau:

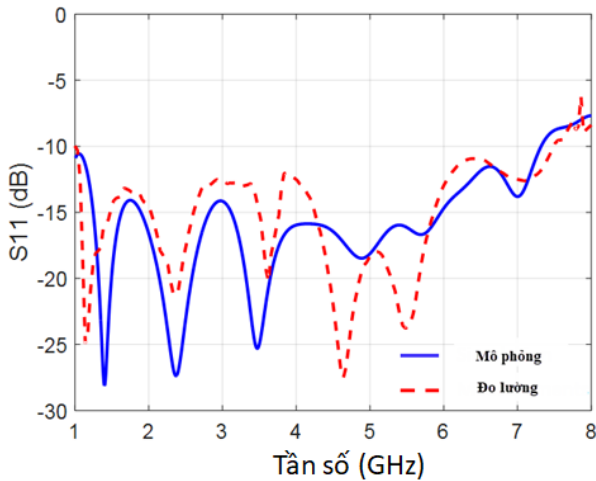
- Tấm phản xạ tấm phát xạ được gắn cố định ở bên ngoài vào mặt đế bằng các vít và đai ốc M3 (8 chiếc).
- Đầu dây nối trung tâm được đưa vào lỗ ở cuối của tấm phát xạ và đóng kín ở phía bên kia. Khoảng cách giữa tấm phát xạ và tấm phản xạ trong khu vực kết nối của đầu nối nên là 2 - 3 mm và được điều chỉnh tối ưu trong quá trình mô phỏng và đo đạc thực tế.

III. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

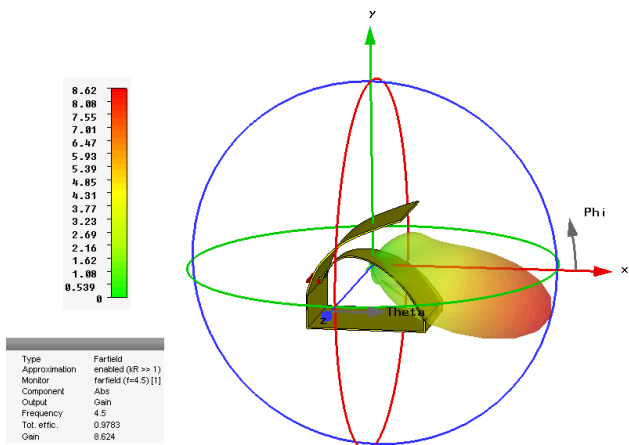
Trong bài báo này, việc mô phỏng và tinh chỉnh thông số Anten thu được thực hiện trên phần mềm CST, việc đo kiểm chất lượng Anten được thực hiện trên máy PNA-L- Network Analyser N5234 A-10 Mhz- 43.5 GHz của hãng Keysight và phòng cam (buồng không phản xạ Anechoic Chamber).

Kết quả mô phỏng và đo lường được trình bày trong Hình 9, Hình 11 cho thấy sự tương ứng tốt giữa mô phỏng và chế tạo thực thể. Ăng ten có băng tần hoạt động siêu rộng với hệ số S11 đo được nhỏ hơn -10dB trong dải từ 1GHz đến 7.5 GHz. Trong băng tần gần 8GHz, S11 đạt xấp xỉ -8dB, giá trị này có thể coi là vẫn chấp nhận được đối với các thiết bị hoạt động trong môi trường công nghiệp.

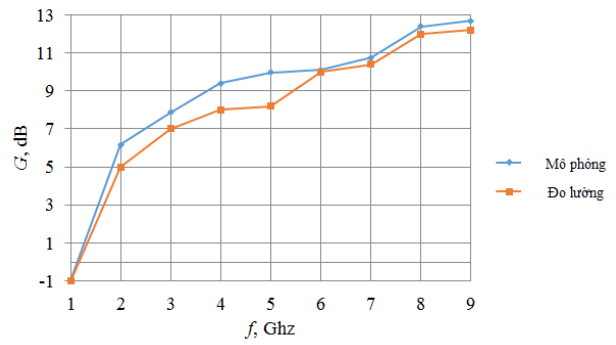
Kết quả mô phỏng trong Hình 10 cho thấy, trong mặt phẳng đứng, hướng của cực đại của búp sóng chính thay đổi theo tần số. Tuy nhiên, trong khoảng 3-6 GHz những thay đổi này là không đáng kể và tối đa không vượt quá giới hạn của khu vực từ 10 đến 15 độ theo góc φ (đồ thị hơi nghiêng xuống dưới). Mô phỏng bức xạ của ăng ten cũng cho thấy hiệu suất rất tốt là 97% và đạt được độ lợi cao (từ 7-12 dBi ở tần số 3GHz và các tần số cao hơn). Các giá trị thực tế đo kiểm thấp hơn một chút so với kết quả mô phỏng như trong Hình 11. Tuy nhiên, vẫn đạt được yêu cầu thiết kế trong thực tế với hệ số khuếch đại trong khoảng từ 3-8GHz luôn đạt trên 7dBi. Với thiết kế hệ thống đặt bộ thu cách vị trí đặt của các khối cảm biến trên 10m, độ rộng búp sóng của ăng ten (20°), và hệ số khuếch đại nhận được đảm bảo bộ thu có thể thu được tất cả tín hiệu từ các khối bộ cảm biến.



Hình 9: Kết quả mô phỏng và đo thực tế tham số S11 của mẫu ăng ten đề xuất



Hình 10: Đồ thị bức xạ của ăng ten đề xuất tại tần số 4,5 GHz



Hình 11: Độ lợi của ăng ten đề xuất

Kết quả đo kiểm của ăng ten thu được có nhiều ưu điểm so với thiết kế nguyên gốc được đề xuất trong công trình [13] của Boryssenکو như tần số chặn dưới thấp hơn, độ lợi trong cả dải băng tần cao hơn.

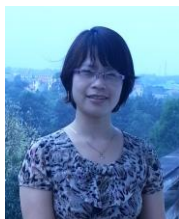
Bên cạnh đó hiệu năng của thiết kế ăng ten đề xuất cũng được so sánh với các kết quả công bố trong các nghiên cứu tương tự trong Bảng 1. Kết quả thể hiện trong Bảng 1 cho thấy, mẫu ăng ten thu đề xuất có kích thước nhỏ gọn và thu được băng thông tương đối và độ lợi tốt, tương đương với các nghiên cứu liên quan. Với băng thông tương đối siêu rộng ~ 200% và độ lợi xung quanh tần số trung tâm ~ 9dBi. So sánh với mẫu ăng ten trong [13], thiết kế gốc mà thiết kế bài báo này đề xuất dựa vào để phát triển. Kích thước của ăng ten đề xuất nhỏ hơn (0.46λ so với 0.53λ tại tần số thấp nhất). Bên cạnh đó, độ lợi của ăng ten đề xuất trong bài báo tăng đáng kể so với thiết kế gốc (9 dBi so với 0 dBi). Bên cạnh đó các kết quả này hoàn toàn có thể có thể được cải thiện thông qua việc thực hiện tối ưu các kích thước của ăng ten cũng như áp dụng các kỹ thuật cải thiện hiệu suất.

So sánh với các kết quả nghiên cứu tương đương, thiết kế ăng ten đề xuất cũng thể hiện được những ưu điểm đáng kể. Trong [15], nghiên cứu của Moussakhani và các cộng sự đề xuất một mẫu ăng ten loa dạng ý tưởng, trong đó kết hợp với chất điện môi có hằng số điện môi cao ($\epsilon' = 10$) để giảm kích thước tổng thể của ăng ten. Thiết kế này cho phép thu được ăng ten có kích thước tương đối nhỏ so với bước sóng lớn nhất $\sim 0.5 \lambda$. Tuy nhiên độ lợi toàn băng tương đối thấp do sự có mặt của vật liệu điện môi. Cũng xuất phát từ thiết kế ăng ten loa TEM, trong [16] Mallahzadeh và cộng sự đề xuất một thiết kế cải tiến trong đó áp dụng các đường cong đặc biệt vào hình dạng của các tấm phẳng tọa thành ăng ten loa, từ đó tạo sự ổn định về độ lợi của ăng ten trên toàn băng. Ăng ten thu được có độ lợi tương đối cao và ổn định, cùng dải tần hoạt động khá rộng, tuy nhiên việc áp dụng đường cong đặc biệt cho hình dạng của tấm phẳng đặt ra các thách thức không nhỏ trong việc chế tạo cơ khí. Cuối cùng, trong [19], Ameri và các cộng sự cũng cải tiến thiết kế ăng ten loa TEM bằng việc cuộn mạnh các tấm phẳng thành dạng hình trụ nhằm thu nhỏ kích thước tổng thể của ăng ten. Điều này cho phép ăng ten hoạt động ở tần số khá thấp. Tuy nhiên dải tần hoạt động của ăng ten đề xuất khá hạn chế, từ 0.28 – 1, 75 GHz. Như vậy, so sánh với các công trình nghiên cứu tương đương, thiết kế ăng ten đề xuất không chỉ thu nhỏ kích thước ăng ten (0.46λ tại tần số thấp nhất), có dải tần siêu rộng mà còn có độ lợi cao, tương đối ổn định trên toàn dải tần.



Nguyen Viet Hung, Nhận học vị Tiến sỹ năm 2014. Hiện công tác tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Lĩnh vực nghiên cứu: Anten và mạch siêu cao tần trong các hệ thống thông tin vô tuyến thế hệ mới.

Email: nvhung_vtl@ptit.edu.vn



Thu A. Pham received B.E degree of Telecommunication engineering from Posts and Telecommunications Institute of Technology (PTIT), Viet Nam, in 2003, and M.E degree of Telecommunication engineering from Royal Melbourne Institute of Technology, Australia, in 2008. Now, she is a lecturer and PhD student in Telecommunication faculty of PTIT. Her research interests include networking, radio over fiber, and broadband networks.

Email: thupa@ptit.edu.vn