

GIẢI PHÁP GIẢM ẢNH HƯỞNG TƯƠNG HỖ CHO ANTEN MIMO ỨNG DỤNG TRONG LIÊN LẠC VỆ TINH DI ĐỘNG

Nguyễn Việt Hưng*, Đặng Anh Tuấn†,

* Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

† Viện nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hoá

Tóm tắt: Bài báo này đề xuất 1 cấu trúc giảm tương hỗ giữa các phần tử của Anten MIMO (Multi Input Multi Output) ứng dụng trong liên lạc vệ tinh di động, trong điều kiện giới hạn về không gian giữa các phần tử bức xạ. Dựa trên cấu trúc mạch vi dải dạng vòng có độ dài giảm dần, cấu trúc đề xuất đã làm giảm ảnh hưởng tương hỗ trong một dải tần rất rộng bao phủ các băng C, X và Ku. Cấu trúc này được phân tích và ứng dụng trong các thiết kế Anten MIMO thường và cả MIMO băng siêu rộng để kiểm nghiệm hiệu quả của cấu trúc. Các kết quả mô phỏng và đo kiểm cho thấy ảnh hưởng tương hỗ trên băng rộng giảm 10dB, khẳng định hiệu quả của cấu trúc đề xuất.

Từ khóa: DGS, Anten MIMO, Anten băng siêu rộng, UWB.

I. MỞ ĐẦU

Việc nâng cao độ tin cậy cho tín hiệu của các hệ thống liên lạc vệ tinh di động mà không làm gia tăng nhu cầu về công suất phát là một đòi hỏi đang được đặt ra trong các hệ thống hiện tại. Giải pháp sử dụng hệ Anten MIMO với các phần tử bức xạ là các Anten băng siêu rộng (UWB – Ultra Wide Band) hiện đang thu hút được nhiều sự chú ý của giới nghiên cứu [1]. Tuy nhiên, một vấn đề gây khó khăn cho các thiết kế Anten MIMO UWB chính là giới hạn về kích thước và sự mâu thuẫn giữa việc thu nhỏ kích thước tổng của mạch nhưng vẫn phải đảm bảo sự cách ly giữa các Anten thành phần [2]. Thông thường, để đảm bảo cách ly, các Anten phần tử trong mạch MIMO phải được đặt cách nhau ít nhất là $\frac{1}{2}$ bước sóng hoạt động. Điều này gây ra khó khăn đối với việc thiết kế các mạch Anten MIMO, đặc biệt đối với các thiết bị di động vốn đã bị giới hạn về không gian.

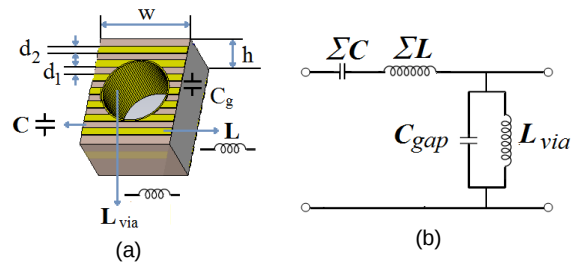
Rất nhiều giải pháp đã được nghiên cứu để giảm hiệu ứng tương hỗ giữa các phần tử bức xạ đặt gần nhau trong các mạch Anten MIMO như sử dụng rãnh điện môi, lớp phủ điện môi hay sử dụng các đoạn ngắn mạch để triệt tiêu dòng phân cực điện dung của lớp die hoặc sử dụng cấu trúc khoảng chắn điện từ EBG (Electromagnetic Gap Band structures).[3]–[8] Gần đây, các nhà nghiên cứu có xu hướng tập trung vào việc làm giảm tương hỗ giữa các phần tử dựa trên kỹ thuật mặt phẳng đất khuyết (DGS) do kỹ thuật này có thể tạo ra đặc tính loại bỏ băng tần giống cấu trúc EBG nhưng lại có cấu trúc nhỏ gọn hơn [9], [10].

Trong khuôn khổ bài báo, chúng tôi đề xuất một cấu trúc nhỏ gọn sử dụng kỹ thuật DGS đối xứng ở cả hai mặt của chất nền với các đường vi dải có độ dài thay đổi theo nguyên tắc gradient xác định bởi các via hình tròn. Cấu trúc này cho phép làm giảm tương hỗ trong một dải băng tần rộng xung quanh tần số trung tâm nhưng vẫn đảm bảo kích thước rất nhỏ (khoảng cách 0.1457λ giữa các phần tử bức xạ trong đó λ là bước sóng trong không gian tự do tại tần số 9.5GHz). Tích hợp cấu trúc này trong 2 thiết kế Anten MIMO hoạt động trong các băng tần liên lạc vệ tinh cho thấy ảnh hưởng tương hỗ giảm đáng kể, lên đến 10 dB.

Các phần tiếp theo của bài báo được bố cục như sau. Phần II mô tả thiết kế cấu trúc giảm ảnh hưởng tương hỗ cũng như mô hình mạch tương đương và các phân tích hiệu năng của nó. Các kết quả mô phỏng và đo đạc của các mạch tích hợp cấu trúc đề xuất trong các thiết kế Anten MIMO được nghiên cứu trong phần III. Kết luận về các kết quả nghiên cứu sẽ được trình bày trong phần IV.

II. CẤU TRÚC GIẢM ẢNH HƯỞNG TƯƠNG HỖ

Cấu trúc DGS đề xuất dựa trên việc kết hợp các unit cell. Thiết kế của mỗi unit cell và mạch tương đương của nó được mô tả trong hình 1 a) và b).



Hình 1. Cấu trúc DGS giảm tương hỗ a) Thiết kế, b) Mạch tương đương

Các unit cell được tạo nên bởi các đường vi dải nhỏ cách đều nhau với độ rộng d_2 và cách đều nhau một khoảng d_1 . Chúng được in lên cả 2 mặt của tấm chất nền và nối với nhau qua via hình tròn. Đồng thời via này cũng có tác dụng làm cho độ dài của từng đường vi dải thay đổi khác nhau theo nguyên tắc gradient. Do cấu trúc như vậy, nguyên lý hoạt động của mỗi unit cell có thể được giải thích bởi mạch tương đương trong hình 1b) [11]. Điện dung ký sinh C được tạo bởi khoảng cách giữa 2 đường vi dải và điện cảm ký

Tác giả liên hệ: Nguyễn Việt Hưng,

Email: nvhung_vt1@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 2/2021, chỉnh sửa: 3/2021, chấp nhận đăng: 4/2021.

sinh L được tạo ra dọc theo chiều dài của các đường này. Chúng ta có thể thấy, tính từ đường trung tâm, giá trị của L và C được tăng dần lên (do sự tăng dần của độ dài của các đường vi dải) và tạo thành giá trị tổng cộng ΣL và ΣC . Nhờ tính chất này, dải tần cộng hưởng (dải tần triệt tiêu) của unit cell được mở rộng. Điều này làm cho cấu trúc đề xuất có thể được áp dụng trong các thiết kế Anten MIMO để làm giảm tương hỗ giữa các phần tử bức xạ một cách hiệu quả.

Bên cạnh đó, L_{via} là điện cảm của lỗ via và có thể được tính theo công thức (1) dưới đây:

$$L_{via} = k_1 h \left[\ln \left(\frac{2h}{r} \right) + 1 \right] \quad (1)$$

Trong đó h là chiều cao của lớp chất nền, r là bán kính của via tính bằng mm và $k_1 = 0.2 \text{ nH/mm}$ [11]. C_g là điện dung giữa các đường vi dải ở hai phía của tấm chất nền và có thể được tính một cách gần đúng theo công thức:

$$C_g = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r (w^2 - \pi w r^2)}{h} \quad (2)$$

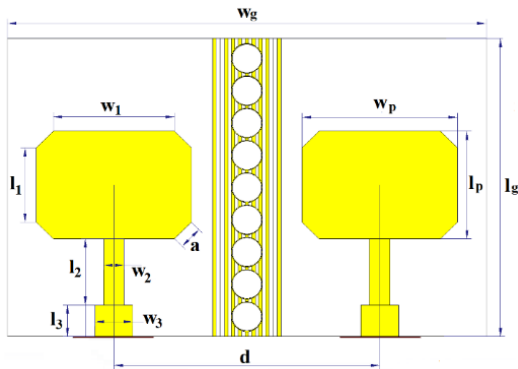
Trong đó, ϵ_0 và ϵ_r tương ứng là hằng số điện môi của chân không và hằng số điện môi tương đối của lớp chất nền. Có thể dễ dàng nhận thấy, cấu trúc này có đặc điểm tương tự với cấu trúc siêu vật liệu mang đặc tính chặn dải mô tả trong [5] với tần số trung tâm f_0 được tính bởi công thức:

$$f_0 = 1/2\pi \sqrt{L_{via} \Sigma C} \quad (3)$$

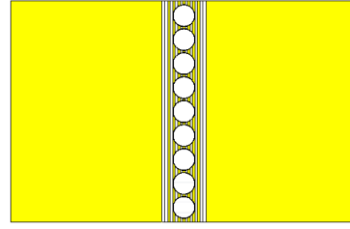
III. THIẾT KẾ ANTEN MIMO TÍCH HỢP CẤU TRÚC ĐỀ XUẤT

A. Thiết kế Anten MIMO cho tần số vệ tinh băng X

Cấu trúc DGS trong mục trước được đề xuất sử dụng trong một thiết kế mạch Anten MIMO để đánh giá khả năng tăng cường cách ly trong dải băng tần rộng. Trong thiết kế này, một dải dọc 1x9 unit cell được đặt giữa 2 Anten patch, là 2 phần tử bức xạ của hệ thống MIMO 1x2 như mô tả trong Hình 2. Việc đặt cấu trúc DGS vào giữa, cho phép hai Anten phần tử có thể được bố trí rất gần nhau với khoảng cách chỉ là 0.1457λ tại 9,5GHz. Ở đây tần số 9,5GHz là tần số trung tâm của các hệ thống liên lạc vệ tinh băng X. Thiết kế DGS đề xuất áp dụng trong các mạch Anten băng siêu rộng (UWB) cho liên lạc vệ tinh ở các băng C, X và Ku sẽ được trình bày ở mục sau.



a) Mặt trên



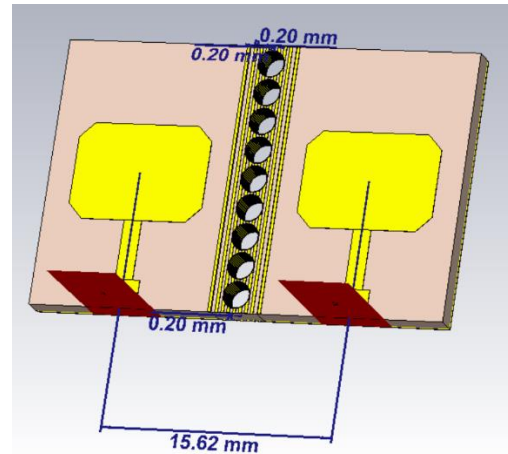
b) Mặt dưới

Hình 2: Thiết kế mạch Anten MIMO áp dụng cấu trúc DGS để giảm tương hỗ.

Bảng 1. Kích thước chi tiết của mạch Anten MIMO

Tham số	Giá trị (mm)	Tham số	Giá trị (mm)
l_g	18	w_g	28,12
l_p	6,5	w_p	9,12
l_1	4,5	w_1	7,12
l_2	4	w_2	1,2
l_3	1,9	w_3	2,2
a	1,41	d	15,62

Mạch Anten được in trên tấm chất nền FR4 với độ dày 1.6 mm, hằng số điện môi 4.4 và hệ số suy hao 0.02. Kích thước tổng của mạch Anten MIMO được thu gọn là 28.12 x 18 mm². Chi tiết các kích thước được mô tả trong Bảng 1.

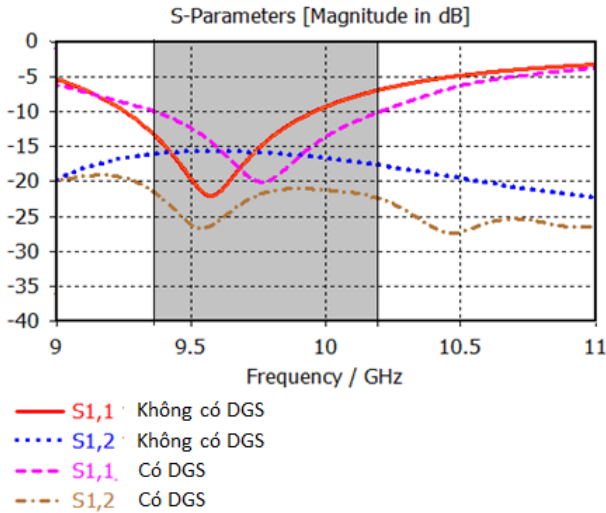


Hình 3: Mô hình Anten MIMO kết hợp cấu trúc DGS để xuất trong phần mềm mô phỏng CST Studio

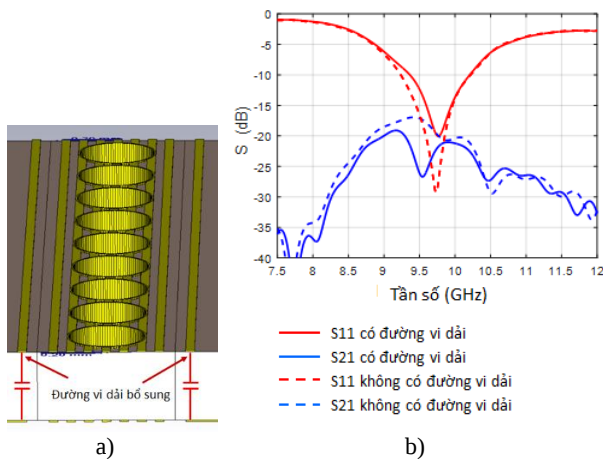
Kết quả mô phỏng bằng phần mềm CST Studio, cho thấy mạch Anten MIMO khi được áp dụng cấu trúc DGS để giảm tương hỗ thu được kết quả cải thiện rõ rệt so với khi không có mạch DGS. Như được thể hiện trong Hình 4 cho thấy, mạch Anten thường không có cấu trúc DGS hoạt động trong dải tần từ 9,25-9,97 GHz và không thỏa mãn yêu cầu về cách ly giữa các phần tử bởi hệ số S12 luôn cao hơn -20dB trên toàn băng [8]. Với việc áp dụng cấu trúc DGS, không chỉ dải tần hoạt động được mở rộng (9,35 – 10,18 GHz) mà hệ số tương hỗ cũng được cải thiện đáng kể. Cụ thể, tại tần số trung tâm 9,5 GHz, hệ số tương hỗ đã giảm từ -15dB xuống dưới -27 dB. Và trên toàn băng, hệ số

tương hỗ S_{12} luôn nhỏ hơn -20 dB trong một dải rất rộng (> 100%).

Để tăng hiệu năng chặn dải của cấu trúc DGS, một cấu trúc kết hợp dạng đường vi dải được đưa vào hai bên của các unit cell như trong Hình 5. Cấu trúc DGS ở đây đóng vai trò giảm tương hỗ (decoupling) giữa hai phần tử bức xạ. Năng lượng điện từ từ hai phần tử bức xạ tạo ra dòng cảm ứng trên đường vi dải. Khe của cấu trúc decoupling ở phía mặt phẳng đất có kích thước nhỏ nên bị ngăn cách với mặt phẳng đất của anten đơn một điện dung C, nối thêm một phần tử bức xạ, giúp giảm thêm tương hỗ (Hình 5a).



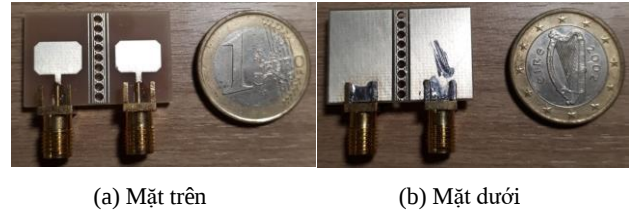
Hình 4: So sánh hiệu năng giữa thiết kế anten MIMO có và không có cấu trúc DGS đề xuất.



Hình 5: Đường vi dải bổ sung để tăng hiệu năng cấu trúc DGS.

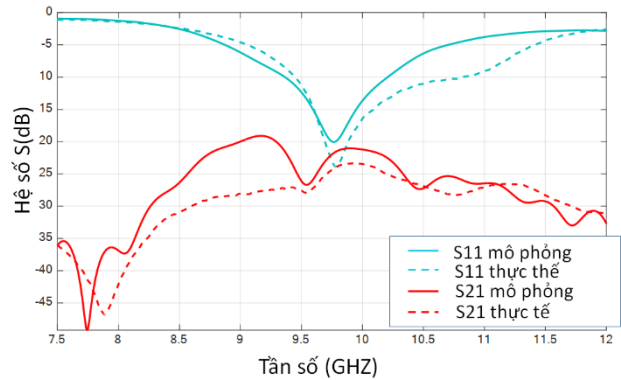
Kết quả mô phỏng cho thấy, việc kết hợp với cấu trúc đường vi dải hai bên làm giảm hoà hợp trở kháng của mạch anten tại tần số trung tâm 9.7 GHz (S_{11} tăng từ -29 dB lên -20 dB). Tuy nhiên, hệ số tương hỗ S_{12} đã giảm đáng kể từ -17 dB xuống dưới -20 dB tại điểm có giá trị cao nhất (9.4 GHz) và từ -20 dB xuống -27 dB tại tần số cộng hưởng (hình 5b). Do mục tiêu thiết kế ưu tiên việc giảm giá trị tương hỗ nên việc bổ sung đường vi dải hai bên cấu trúc DGS đã cho kết quả như mong muốn.

Mẫu thử nghiệm được in trên tấm nền FR4 (Hình 6). Kết quả đo hệ số S được so sánh với kết quả từ mô phỏng và được biểu diễn trong Hình 7.



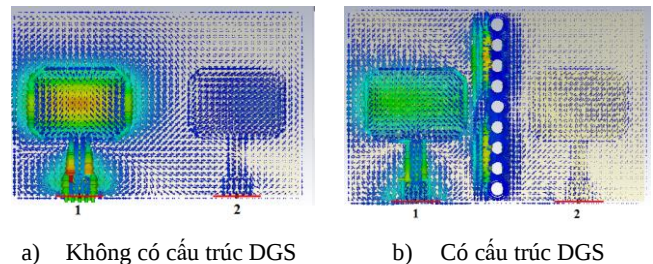
Hình 6: Mẫu thử nghiệm mạch anten MIMO kết hợp cấu trúc DGS

Quan sát hình 7, có thể thấy kết quả đo và kết quả mô phỏng có sự tương đồng tương đối cao. Trong kết quả đo thực tế, băng tần hoạt động của hệ anten MIMO là rộng hơn so với mô phỏng khoảng (từ 9,5 GHz – 11 GHz) và đặc biệt hệ số tương hỗ đạt giá trị rất thấp trong toàn băng < -23 dB. Từ đó khẳng định hiệu quả của việc áp dụng cấu trúc DGS trong việc giảm tương hỗ của các phần tử trong hệ anten MIMO và đồng thời cho thấy tính chất chặn dải trong băng rất rộng của cấu trúc đề xuất.



Hình 7: Kết quả đo mẫu anten MIMO bằng X

Sự suy giảm tương hỗ có thể được giải thích khi quan sát kết quả dòng điện bề mặt từ các mô phỏng như trong Hình 8. Ta thấy rằng, trong trường hợp có sự xuất hiện của cấu trúc DGS, các dòng điện bề mặt lớn chủ yếu tập trung trong cấu trúc DGS, và dòng điện bề mặt trên tấm bức xạ bên phải trở nên ít hơn nhiều so với khi không có cấu trúc DGS. Điều này tương đương với việc dòng cảm ứng trên mặt bức xạ bên phải do mặt bức xạ bên trái gây ra là rất nhỏ, hay nói cách khác chính là hiệu ứng tương hỗ đã bị triệt tiêu rất nhiều do sự xuất hiện của cấu trúc DGS. Kết quả hoàn toàn tương tự có thể được quan sát trong mô phỏng khi kích thích từ cổng 2, do tính đối xứng của cấu trúc anten.



Hình 8: Dòng bề mặt trên mạch anten

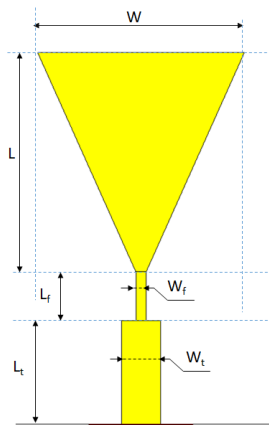
Kết quả mô phỏng bức xạ cho thấy việc áp dụng cấu trúc DGS không làm thay đổi nhiều hình dáng bức xạ của hệ anten MIMO. Tuy nhiên hệ số bức có giảm đi từ 3,5 dBi xuống 3,1 dBi và hiệu suất bức xạ giảm từ 62% xuống 58%.

B. Đề xuất thiết kế anten MIMO UWB sử dụng cấu trúc DGS ứng dụng trong nhiều băng tần vệ tinh

Cấu trúc DGS được đề xuất kết hợp với mẫu anten monopole dạng tam giác tạo thành một hệ anten MIMO UWB như thể hiện trong Hình 9.

Kích thước của cấu trúc DGS được giữ nguyên với tần số trung tâm 9.5 GHz và được mô tả trong mục II. Hai anten monopole UWB hình tam giác được đặt trên tấm nền FR-4, được cách ly với nhau bởi cấu trúc DGS ở chính giữa mạch và được tiếp điện bởi đường dẫn vi dải kết hợp đoạn chuyển tiếp trở kháng để phục vụ phối hợp trở kháng.

Kích thước cụ thể mạch anten sau khi được tối ưu hoá để phối hợp trở kháng được mô tả trong Bảng 2.

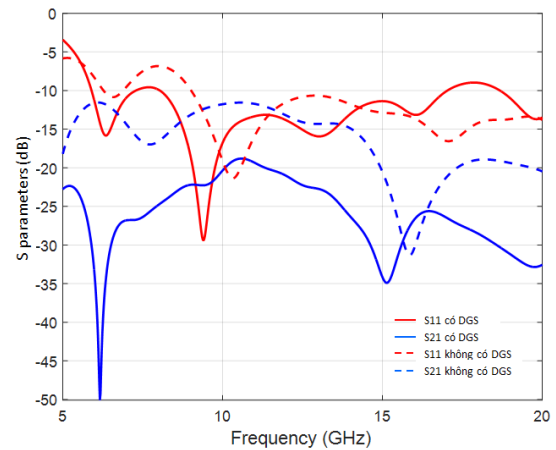


Hình 9: Thiết kế và tham số kích thước của anten UWB

Bảng 2. Kích thước chi tiết của mạch anten MIMO UWB

Tham số	Giá trị (mm)
W	8
L	8,5
W _f	0,4
W _t	1,5
L _f	1,9
L _t	4

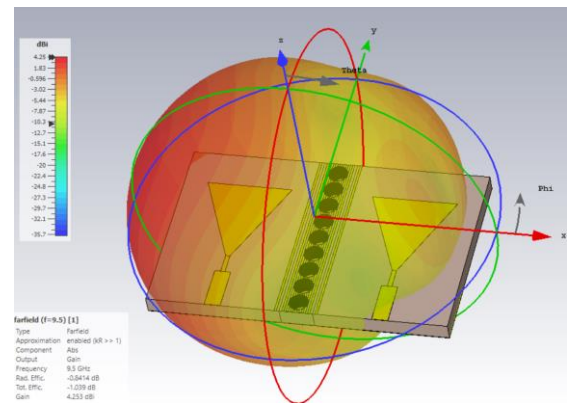
Kết quả mô phỏng bằng phần mềm CST Studio, cho thấy mạch anten MIMO UWB khi được áp dụng cấu trúc DGS để giảm tương hỗ thu được kết quả cải thiện độ cách ly rõ rệt so với khi không có mạch DGS. Hình 10 cho thấy, cả hai hệ ăng-ten đều đạt được dải tần hoạt động siêu rộng, từ 6GHz đến trên 20GHz. Tuy nhiên mạch anten không có cấu trúc DGS có hiệu năng cách ly giữa hai phần tử bức xạ tương đối thấp bởi hệ số S12 cao hơn -15dB trên dải tương đối rộng, và như vậy là không thỏa mãn yêu cầu như được đề cập trong [8].



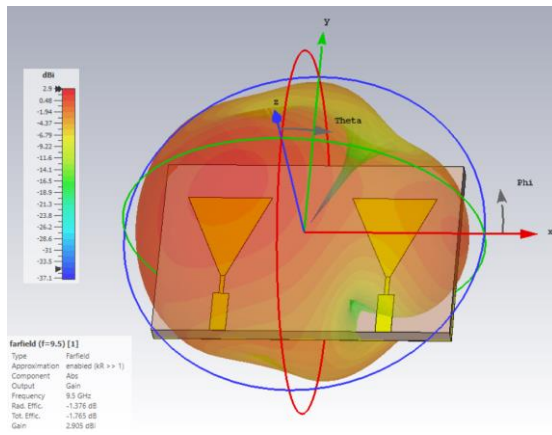
Hình 10: So sánh kết quả mô phỏng hệ anten MIMO UWB khi có và không có cấu trúc DGS.

Với việc áp dụng cấu trúc DGS, không chỉ làm phối hợp trở kháng được cải thiện mà hệ số tương hỗ cũng được giảm đáng kể. Cụ thể, tại tần số trung tâm 9,5 GHz, hệ số tương hỗ đã giảm từ -12dB xuống dưới -22 dB. Và trên toàn băng, hệ số tương hỗ S12 luôn nhỏ hơn -20 dB trong dải siêu rộng. Trong toàn dải hoạt động, việc tích hợp cấu trúc DGS vào trong thiết kế giúp giảm hệ số tương hỗ xuống khoảng -10 dB. Điều này chứng minh cấu trúc DGS đề xuất hoàn toàn có thể được áp dụng trong mạch anten MIMO UWB để làm tăng đặc tính cách ly trên dải siêu rộng bao phủ một phần băng C (4-8GHz), toàn bộ băng X (8-12GHz) và toàn bộ băng Ku (8-12 GHz).

Kết quả mô phỏng bức xạ cho thấy việc áp dụng cấu trúc DGS không làm thay đổi nhiều hình dáng bức xạ của hệ anten MIMO. Đồng thời, hệ số khuếch đại tăng từ 2,9 dBi lên 4,2 dBi và hiệu suất bức xạ tăng từ 72% lên 82%. (Kết quả mô phỏng tại 9,5 GHz).



a) Có DGS



b) Không có DGS

Hình 11: Đồ thị bức xạ của anten MIMO UWB.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất một thiết kế sử dụng cấu trúc mặt phẳng đất khuyết DGS sử dụng các đường vi dải có độ dài thay đổi theo nguyên tắc radiant dựa vào các via hình tròn nối giữa hai mặt phẳng của tấm chất nền. Các phân tích lý thuyết của cấu trúc này cũng đã được đưa ra. Sau đó, cấu trúc DGS đề xuất được áp dụng trong các thiết kế mạch ăng-ten MIMO ứng dụng cho liên lạc vệ tinh. Kết quả mô phỏng và đo mẫu thử nghiệm cho thấy, cấu trúc mặt phẳng đất khuyết đề xuất đã giải quyết rất tốt bài toán tăng cường cách ly cho các anten phần tử của hệ anten MIMO, từ đó cho phép các anten phần tử đặt rất gần nhau (0.1457λ) mà không ảnh hưởng đến hiệu năng chung của hệ.

Các kết quả đạt được cho thấy dải tần số cách ly của cấu trúc DGS đề xuất cũng đạt được giá trị rất rộng có thể phủ một phần băng C (4-8GHz), toàn bộ băng X (8-12GHz) và toàn bộ băng Ku (8-12 GHz).

LỜI CẢM ƠN (NẾU CÓ)

Công trình này được hỗ trợ bởi đề tài khoa học và công nghệ cấp nhà nước “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống thông tin di động chuyên dụng chuyển tiếp vệ tinh phục vụ vùng sâu vùng xa, biển đảo và các trường hợp khẩn cấp”. Mã số: VT-CN.04/18-20.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Yadav and L. Malviya, “UWB antenna and MIMO antennas with bandwidth, band-notched, and isolation properties for high-speed data rate wireless communication: A review,” *Int. J. RF Microw. Comput.-Aided Eng.*, vol. 30, no. 2, Feb. 2020, doi: 10.1002/mmce.22033.
- [2] H. AL-Saif, M. Usman, M. T. Chughtai, and J. Nasir, “Compact Ultra-Wide Band MIMO Antenna System for Lower 5G Bands,” *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2018, pp. 1–6, Jun. 2018, doi: 10.1155/2018/2396873.
- [3] B. Majumder, Krishnamoorthy K, and J. Mukherjee, “A novel compact comb shaped EBG structure for coupling reduction in WIMAX band,” in *2013 IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC)*, Bhubaneswar, India, Dec. 2013, pp. 1–2, doi: 10.1109/AEMC.2013.7045105.
- [4] Md. S. Alam, M. T. Islam, and N. Misran, “A NOVEL COMPACT SPLIT RING SLOTTED ELECTROMAGNETIC BANDGAP STRUCTURE FOR MICROSTRIP PATCH ANTENNA PERFORMANCE

ENHANCEMENT,” *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 130, pp. 389–409, 2012, doi: 10.2528/PIER12060702.

- [5] N. K. Kiem, H. N. B. Phuong, Q. N. Hieu, and D. N. Chien, “A Novel Metamaterial MIMO Antenna with High Isolation for WLAN Applications,” *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2015, pp. 1–9, 2015, doi: 10.1155/2015/851904.
- [6] T.-L. Chiu, L. Huitema, O. Pajona, and T. Monediere, “Compact and Multiband MIMO Dielectric Resonator Antenna for Automotive LTE Communications,” *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2018, pp. 1–15, Dec. 2018, doi: 10.1155/2018/8231081.
- [7] T. Dabas, D. Gangwar, B. K. Kanaujia, and A. K. Gautam, “Mutual coupling reduction between elements of UWB MIMO antenna using small size uniplanar EBG exhibiting multiple stop bands,” *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, vol. 93, pp. 32–38, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.aeu.2018.05.033.
- [8] I. Szini, A. Tatomiurescu, and G. F. Pedersen, “On Small Terminal MIMO Antennas, Harmonizing Characteristic Modes With Ground Plane Geometry,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 4, pp. 1487–1497, Apr. 2015, doi: 10.1109/TAP.2015.2398111.
- [9] M. K. Khandelwal, B. K. Kanaujia, and S. Kumar, “Defected Ground Structure: Fundamentals, Analysis, and Applications in Modern Wireless Trends,” *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2017, pp. 1–22, 2017, doi: 10.1155/2017/2018527.
- [10] L. Malviya, R. K. Panigrahi, and M. V. Kartikeyan, “MIMO antennas with diversity and mutual coupling reduction techniques: a review,” *Int. J. Microw. Wirel. Technol.*, vol. 9, no. 8, pp. 1763–1780, Oct. 2017, doi: 10.1017/S1759078717000538.
- [11] K. H. Kim and J. E. Schutt-Aine, “Analysis and Modeling of Hybrid Planar-Type Electromagnetic-Bandgap Structures and Feasibility Study on Power Distribution Network Applications,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 56, no. 1, pp. 178–186, Jan. 2008, doi: 10.1109/TMTT.2007.912199.

DECOUPLING SOLUTION FOR MIMO ANTENNA FOR MOBILE SATELLITE COMMUNICATIONS APPLICATION.

Abstract: In this paper, a novel decoupling structure is proposed to depress mutual coupling among closed-spaced elements in MIMO antenna design for the distance of 0.1457λ , applied for mobile satellite communication. The proposed structure, based on gradient line, has reduced mutual coupling in a wide range of frequency, for a part of C band, and whole of band X and Ku. The structure was analyzed using equivalent circuit and applied in MIMO and array antenna designs to reduce mutual coupling and distortion of radiation pattern. The measured results were also presented and agree well with simulated ones.

Keywords:



Nguyễn Việt Hưng. Nhận học vị Tiến sĩ 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_vt1@ptit.edu.vn



Đặng Anh Tuấn, Nhận bằng Thạc Sĩ năm 2012 tại Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hiện đang công tác đồng thời làm nghiên cứu sinh tại Viện Hiện công tác tại Viện nghiên cứu Điện tử, Tin học và tự động hoá. Lĩnh vực nghiên cứu: Các hệ thống liên lạc vô tuyến, ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong các hệ thống công nghiệp.

Email: stc@vielina.com