

# THIẾT KẾ ANTEN 5 BĂNG TẦN CHO ỨNG DỤNG IOT/IIOT SỬ DỤNG CẤU TRÚC VÒNG CỘNG HƯỞNG TỪ

Dương Thị Thanh Tú\*, Nguyễn Thị Hằng\*, Trần Quang Hưng\*

\*Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

+ Trung tâm Kỹ thuật Truyền dẫn phát sóng, Đài truyền hình Việt Nam

**Tóm tắt**— IIoT (Industrial Internet of Things) là một bước phát triển tiếp theo của IoT (vạn vật kết nối Internet) trong kỷ nguyên công nghiệp 4.0 nhằm mang đến bước tiến mới trong quản lý, trao đổi dữ liệu linh hoạt và tự động của các lĩnh vực công nghiệp. Để làm được điều này, anten đa băng cho đa công nghệ truyền thông trong IoT/IIoT là một phần tất yếu và là hướng đi nhận được khá nhiều sự quan tâm, nghiên cứu trong thời gian gần đây. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một anten phẳng dựa trên vật liệu FR4, dễ dàng chế tạo và tích hợp trong các mạch điện tử của các thiết bị IoT/IIoT. Anten sử dụng cấu trúc vòng cộng hưởng từ CSRR (Complementary Split Ring Resonator) để tạo nên đặc tính đa băng với 5 băng tần hoạt động, cộng hưởng tại các tần số: 2.45GHz, 3.598GHz, 5.446GHz, 5.761GHz và 6.33GHz. Đây đều là các băng tần được sử dụng khá rộng rãi cho truyền thông IoT/ IIoT. Kết quả của đề xuất được chứng minh trên mô hình mạch cộng hưởng LC cũng như phần mềm mô phỏng đã được thương mại hóa CST.

**Từ khóa**—IoT/ IIoT, anten đa băng, CSRR.

## I. GIỚI THIỆU

Sự phát triển của các công nghệ truyền thông tiên tiến như hệ thống mạng nội hạt không dây theo chuẩn 802.11 WiFi 5 (Wireless Fidelity), WiFi 6, truyền thông di động thế hệ thứ 4, 5 (4G LTE - Long Term Evolution), 5G (Generation), ... đã làm đa dạng hơn các phương thức truyền tải dữ liệu khác trong kỷ nguyên vạn vật kết nối Internet IoT/IIoT (Internet of Things/ Industrial Internet of Things), làm tăng thêm độ linh hoạt cũng như đa dạng loại hình dịch vụ cho thu thập, phân tích và truyền tải các loại dữ liệu khác nhau trong IoT/ IIoT [1]. Anten đa băng là một phần tử khá quan trọng trong hệ thống thu phát IoT/IIoT. Chúng không chỉ làm giảm kích thước tổng thể của các phần tử anten trong thiết bị mà còn mang đến độ tích hợp và ứng dụng cao, phù hợp với sự đa dạng về chuẩn truyền thông trong IoT/ IIoT [2].

Truyền thông trong IIoT, ngoài các chuẩn truyền thông công nghiệp như Wireless HART, ISA.100.11a, một số băng tần khác trong truyền thông tiên tiến hiện nay cũng

được khuyến nghị sử dụng cho IoT nói chung và IIoT như băng tần 2.4GHz, 3.5GHz, 5GHz, ... [1], [3].

Cấu trúc vòng cộng hưởng từ CSRR (Complementary Split Ring Resonator) là một loại hình cấu trúc siêu vật liệu, hiện được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như tạo siêu thấu kính, thiết kế bộ lọc siêu cao tần, đặc biệt trong thiết kế anten tiên tiến nhằm cải thiện các tham số hiệu năng [4]-[9]. Jogesh Chandra Dash và Debdeep Sarkar [4] đã sử dụng cấu trúc CSRR đơn, đặt tại góc  $\frac{1}{4}$  của anten đa đầu vào đa đầu ra (Multiple Input Multiple Output) MIMO 2x2 nhằm tối thiểu hóa kích thước anten và tạo cộng hưởng hai băng 3.4GHz và 3.9GHz. Arshad Karimbu Vallappil và các cộng sự [5] sử dụng cấu trúc CSRR kép, đặt tại đáy của mặt bức xạ hình tam giác nhằm mở rộng băng thông cho anten đơn băng cộng hưởng tại tần số 3.5GHz. Cùng là anten MIMO nhưng Mandeep Singh, Simranjit Singh, Mohammad TariqulIslam [6] sử dụng cấu trúc CSRR để cải thiện hệ số tăng ích và tăng độ định hướng trong khi Pankaj Kumar Keshri, Sanjay Kumar Sahu và Richa Chandel [8] tối thiểu hóa kích thước và nâng cao độ cách ly. Trên thiết kế anten đơn, Abdelmalek Reddaff và các cộng sự [7] dùng một phần tử CSRR trên mặt phẳng đất để tạo anten hai băng còn Mekala Ananda Reddy, Albert Ruth Jency, Sharma Shabdita, and Ramasamy Pandeewari [9] tối thiểu hóa kích thước cho đơn băng tần 3.5GHz.

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất giải pháp sử dụng cấu trúc ba phần tử CSRR trên anten đơn, có mặt bức xạ truyền thống hình chữ nhật. Cấu trúc CSRR được khoét trên mặt phẳng đất, ngay dưới bề mặt bức xạ nhằm tối thiểu hóa kích thước anten đồng thời tạo năm tần số cộng hưởng với các băng tần phổ dụng cho truyền thông IoT/IIoT như 2.4GHz, 3.5GHz, 5.4GHz, 5.7GHz và 6.3GHz.

Nội dung tiếp theo của bài báo bao gồm cấu trúc anten và cấu trúc CSRR với các tần số cộng hưởng được xác định theo mô hình mạch cộng hưởng LC được trình bày trong phần II. Phần III là các kết quả của anten CSRR 5 băng được thực hiện trên phần mềm mô phỏng trường điện từ đã được thương mại hóa CST.

## II. CẤU TRÚC ANTEN ĐỀ XUẤT

Trong phần này, cấu trúc anten 5 băng CSRR được đề xuất. Đầu tiên, tổng kích thước của mặt bức xạ được tính toán dựa trên tần số cộng hưởng mong muốn. Ở đây, nhóm tác giả lựa chọn băng tần 3,5GHz. Đây là băng tần phổ dụng cho truyền thông 5G băng tần dưới 6 GHz, đồng thời cũng là một trong các băng tần của công nghệ truyền thông không dây Wimax-2 hay 4G-LTE. Theo [10] ta có:

Tác giả liên hệ: Dương Thị Thanh Tú

Email: tudtt@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 28/9/2022, chỉnh sửa: 17/10/2021, chấp nhận đăng: 23/10/2022.

$$f_1 = \frac{c}{2L_p\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{2L_p\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0}} \quad (1)$$

$$B = \frac{(\epsilon_r - 1)W_p h}{\epsilon_r^2 L_p} \quad (2)$$

Trong đó,  $c$  là tốc độ ánh sáng,  $f_1$  là tần số cộng hưởng góc, được lựa chọn để xác định kích thước  $L_p$  và  $W_p$  của anten,  $\epsilon_r$  là hằng số điện môi,  $h$  là chiều dày của vật liệu.

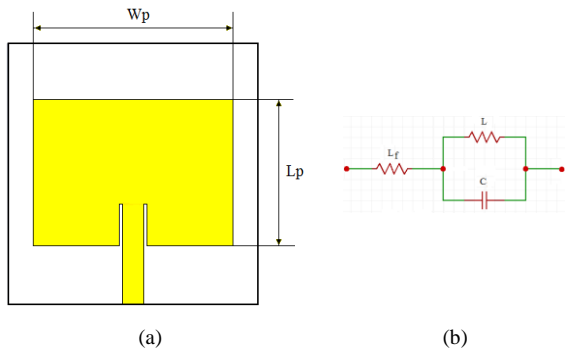
Anten đề xuất sử dụng vật liệu FR4 với hằng số điện môi  $\epsilon_r=4,3$ ; độ tổn hao  $\delta=0,02$  và chiều dày  $h=1,6\text{mm}$ . Anten sử dụng phương pháp tiếp điện bằng đường truyền vi dải với các kích thước được tính toán theo lý thuyết đường truyền vi dải trong trường hợp trở kháng đường truyền được chọn là  $50 \Omega$  [10]:

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \ln \left[ \frac{W}{h} + 1.393 + \frac{2}{3} \ln \left( \frac{W}{h} + 1.444 \right) \right]} \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Trong đó,  $\epsilon_{eff}$  là hằng số điện môi hiệu dụng,  $W$  là chiều rộng của đường tiếp điện vi dải.

Cấu trúc của anten bức xạ hình chữ nhật ban đầu với mô hình mạch tương đương của nó được thể hiện trong hình 1 [11].



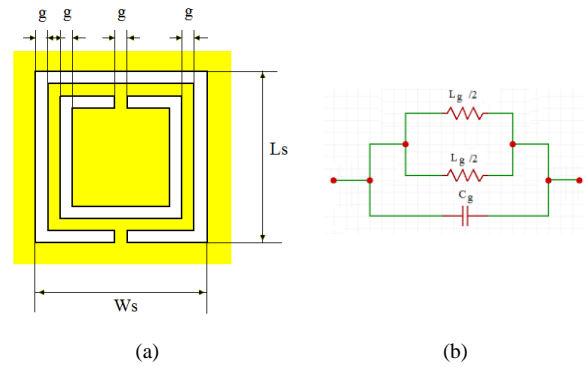
Hình 1. Bản vẽ (a) Mặt trước anten vi dải (b) Mô hình mạch tương đương

Từ mô hình mạch tương đương, ta có thể xác định được tần số cộng hưởng của anten như sau:

$$f_1 = \frac{\sqrt{L_f + L}}{2\pi\sqrt{L_f LC}} \quad (5)$$

Trong đó,  $L_f$  là điện cảm sinh ra bởi đường tiếp điện,  $L$  là điện cảm được sinh ra bởi mặt bức xạ và  $C$  là điện dung được sinh ra bởi hai bề mặt đồng của mặt bức xạ và mặt phẳng đất.

Sau đó, phần tử CSRR hình chữ nhật được thiết kế với kích thước được xác định dựa trên tần số cộng hưởng 2,4GHz mà không làm thay đổi kích thước tổng thể của anten ban đầu. Điều này có nghĩa, với việc sử dụng thêm cấu trúc CSRR đơn, anten có thể giảm nhỏ kích thước đi 31,5% đồng thời tạo anten băng tần kép. Bản vẽ cấu trúc phần tử CSRR và mô hình mạch tương đương của nó được thể hiện trên hình 2 [11].



Hình 2. Bản vẽ (a) Phần tử CSRR (b) Mô hình mạch tương đương

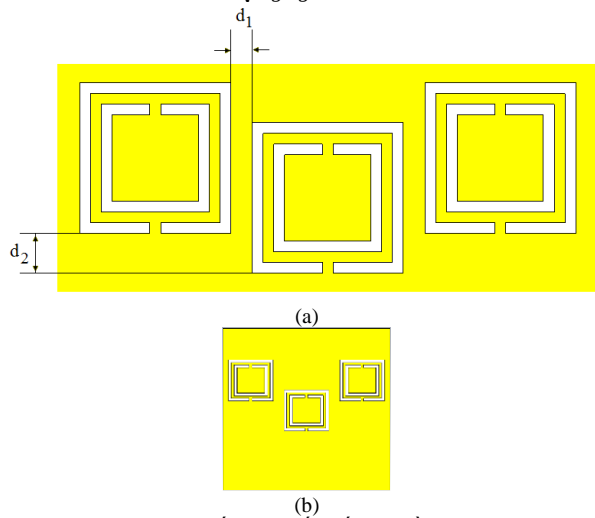
Tần số cộng hưởng của phần tử CSRR được xác định gần đúng bởi công thức sau:

$$f_2 = \frac{1}{4\pi\sqrt{L_g C_g}} \quad (6)$$

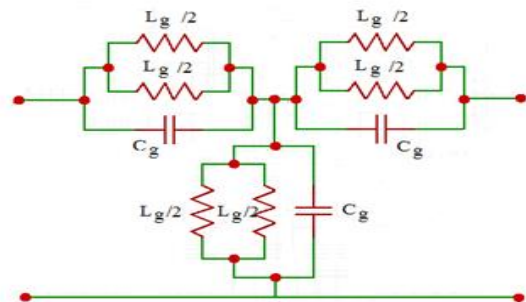
Trong đó  $L_g$  và  $C_g$  là điện cảm và điện dung được sinh ra bởi cấu trúc CSRR đơn [12], [13].

Ba phần tử CSRR được đặt không tuần hoàn trên mặt phẳng đất chỉ ra như trên hình 3. Với cách sắp xếp này, cấu trúc CSRR 3 phần tử kết hợp tạo ra thêm tần số cộng hưởng mới với mô hình mạch tương đương được chỉ ra trong hình 4 và tần số cộng hưởng được xác định gần đúng theo công thức:

$$f_3 = \frac{\sqrt{2}}{\pi\sqrt{L_g C_g}} \quad (7)$$



Hình 3. Bản vẽ (a) Cấu trúc sắp xếp 3 phần tử CSRR (b) Mặt sau anten



Hình 4. Mô hình mạch tương đương của cấu trúc CSRR 3 phần tử

Hai tần số còn lại của anten được xác định bởi mạch kết hợp giữa anten và cấu trúc 3 phần tử CSRR. Dựa trên mô hình mạch tương đương, có thể xác định gần đúng tần số cộng hưởng của anten như sau:

$$f_4 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}} \quad (8)$$

$$f_5 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}} \quad (9)$$

với a, b và c được xác định bởi:

$$a = L_f L \frac{L_g C C_g}{8} \quad (10)$$

$$b = L_f L C + L_f \frac{L_g}{8} + L \frac{L_g C_g}{8} + L \frac{L_g C}{8} \quad (11)$$

$$c = L_f + L + \frac{L_g}{4} \quad (12)$$

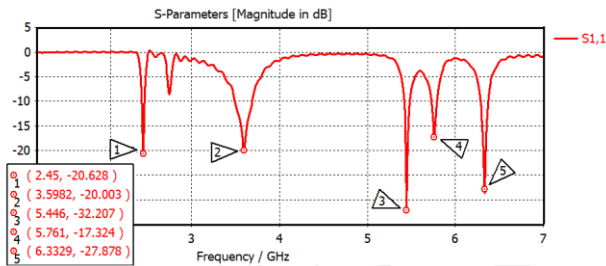
Các kích thước cụ thể của anten sau tối ưu trên phần mềm mô phỏng CST được thể hiện trong bảng 1.

BẢNG 1. CÁC THÔNG SỐ THIẾT KẾ CỦA ANTEN CSRR ĐỀ XUẤT

Thông số	Wp	Lp	Ws	Ls	g
Giá trị (mm)	24	18	7	7	0.5

### III. ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Đặc tính đa băng của anten được thể hiện rõ nét nhất trên đồ thị tham số tán xạ S11 như chỉ ra trong hình 5. Có thể thấy rõ anten cộng hưởng tại 5 tần số: 2,45GHz, 3,598GHz; 5,446GHz; 5,761GHz và 6,3329GHz với băng thông tại -10dB tương ứng là 50MHz, 210MHz, 70MHz, 72MHz và 95MHz.

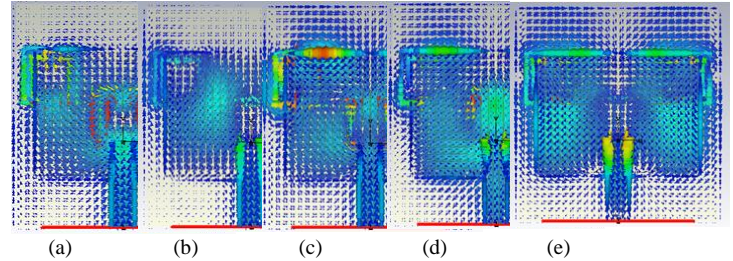


Hình 5. Đồ thị tham số tán xạ S11 của anten CSRR đề xuất

Các băng tần của anten CSRR đề xuất có thể bao phủ bao phủ băng tần truyền thông cho các thiết bị cảm biến trong mạng IoT/ IIoT với các công nghệ truyền thông phổ dụng như băng tần 2,4GHz cho WiFi, Z-wave, Zigbee, Bluetooth, ...; băng tần 3,5GHz cho 4G/ 5G, Wimax; băng tần 5,6GHz, 5,7GHz cho WiFi, WLAN; băng tần 6,3GHz cho vệ tinh băng tần C. Anten đạt kích thước tổng thể 30x31x1,6mm<sup>3</sup> với kích thước mặt bức xạ 24x18mm<sup>2</sup>, bằng 38,1% kích thước anten lý thuyết. Hay nói cách khác, với việc sử dụng cấu trúc CSRR ba phần tử, kích thước phần tử bức xạ của anten đề xuất đã được giảm đi 61,9%.

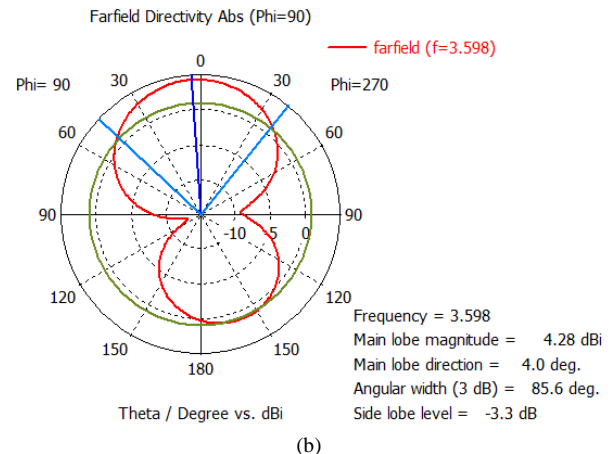
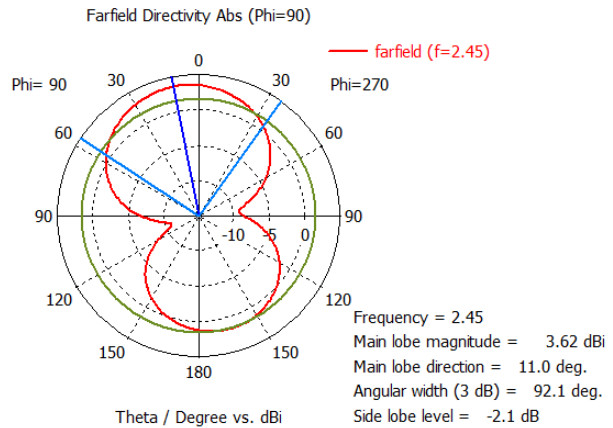
Đặc tính đa băng của anten cũng có thể chứng minh dựa trên phân bố dòng điện mật trên anten như chỉ ra trong hình 6. Có thể thấy, tại tần số cộng hưởng 2,45GHz được xác

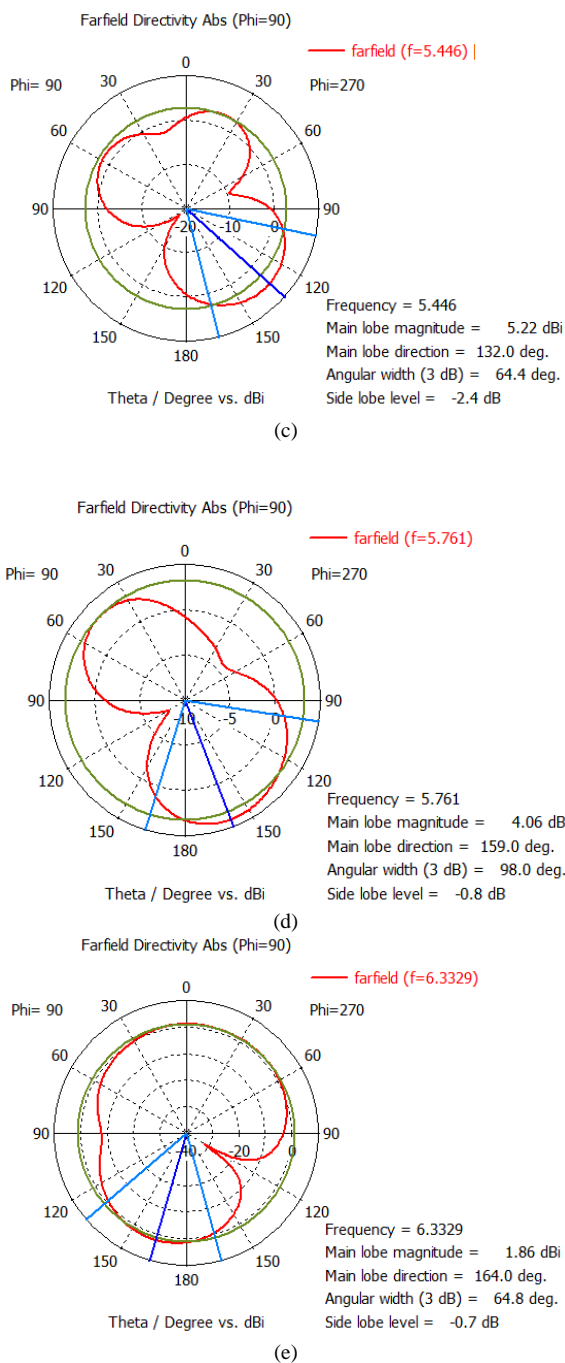
định bởi chính cấu trúc một phần tử CSRR. Dòng điện trong trường hợp này đi từ đường cấp điện vi dải đến phân bố chủ yếu trên khe chẻ của cấu trúc CSRR đơn trong khi tại tần số cộng hưởng 5,6GHz, mật độ dòng điện tập trung trên cả 3 phần tử CSRR còn tại tần số cộng hưởng 3,5GHz, dòng lan đều trên toàn mặt patch bức xạ. Đối với hai tần số cộng hưởng 5,761GHz và 6,329GHz, mật độ dòng phân bố khá giống nhau, phân bố trên cả patch bức xạ và cấu trúc CSRR với tỷ lệ sai khác nhau.



Hình 6. Phân bố mật độ dòng trên anten CSRR 5 băng (a) f=2.45GHz, (b) f=3.598GHz, (c) f=5.446GHz, (d) f=5.761GHz, (e) f=6.3329GHz

Bức xạ 2D của anten tại năm tần số cộng hưởng 2,45GHz, 3,598GHz, 5,446GHz, 5,761GHz và 6,3329 GHz được thể hiện trên hình 7. Có thể thấy, anten có dạng bức xạ gần song hướng với độ định hướng khá tốt, đạt: 3,62dBi; 4,28dBi; 5,2dBi; 4,06 và 4,689dBi tương ứng với các tần số cộng hưởng. Bức xạ này có thể giúp cho các thiết bị cảm biến trong hệ thống IoT/ IIoT có thể thu phát song hướng tại 5 tần số khác biệt nhau, nâng cao khả năng tương thích và linh hoạt đáp ứng với các băng tần khác nhau trong các chuẩn truyền thông khác nhau cho IoT/ IIoT.





Hình 7. Bức xạ 2D của anten CSRR 5 băng (a)  $f=2.45$ GHz, (b)  $f=3.598$ GHz, (c)  $f=5.446$ GHz, (d)  $f=5.761$ GHz, (e)  $f=6.3329$ GHz

#### IV. KẾT LUẬN

Với việc sử dụng cấu trúc 3 phần tử CSRR sắp xếp không tuần hoàn trên mặt phẳng đất, anten đa băng đề xuất không những tối thiểu hóa được 61,9% kích thước bức xạ mà còn có thể hoạt động được 5 băng tần khác nhau. Các băng tần được tính toán sơ bộ theo lý thuyết mạch cộng hưởng LC kết hợp với tối ưu bằng phần mềm mô phỏng trường điện từ đã được thương mại hóa CST để đạt được tần số cộng hưởng mong muốn, đều là những băng tần chủ đạo của truyền thông IoT/ IIoT. Bên cạnh đó, anten được thiết kế dựa trên vật liệu rẻ tiền FR4, với cấu trúc phẳng, dễ dàng chế tạo bằng công nghệ mạch in, có thể linh hoạt trong việc tích hợp với mạch thu phát siêu cao tần trong các thiết bị cảm biến IoT/ IIoT.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] W. Z. Khan, M. H. Rehman, H. M. Zangot, M. K. Africa, N. Armı, K. Salah, "Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges," Computers and Electrical Engineering, vol. 81, issue. C, Jan. 2020.
- [2] Prem P. Singh, Pankaj K. Goswami, Sudhir K. Sharma, and Garima Goswami, "Frequency Reconfigurable Multiband Antenna for IoT Applications in WLAN, Wi-Max, and C-Band," Progress in Electromagnetics Research C, vol. 102, pp.149–162, 2020.
- [3] Sisinni E., Saifullah A., Han S., Jennehag U., Gidlund M., "Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 14, No.11, pp.4724-4734, Nov.2018.
- [4] Jogesh Chandra Dash; Debdeep Sarkar, "A Four-Port CSRR-Loaded Dual-Band MIMO Antenna with Suppressed Higher Order Modes", IEEE Access, vol. 10, pp. 30770 - 30778, 21 March 2022.
- [5] Arshad Karimbu Vallappil, Bilal A. Khawaja, Mohamad Kamal A. Rahim, Muhammad Naeem Iqbal, and Hassan T. Chattha, "Metamaterial-Inspired Electrically Compact Triangular Antennas Loaded with CSRR and  $3 \times 3$  Cross-Slots for 5G Indoor Distributed Antenna Systems", Micromachines, vol. 13, p.198, 2022.
- [6] Mandeep Singh, Simranjit Singh, Mohammad TariquIslam, "CSRR loaded high gained 28/38GHz printed MIMO patch antenna array for 5G millimeter wave wireless devices", Microelectronic Engineering, vol. 262, 1 June 2022.
- [7] Abdelmalek Reddaf, Fatima Djerfaj, Karim Ferroudji, Karim Ferroudji et al., "Design of dual-band antenna using an optimized complementary split ring resonator", Applied Physics, vol. 125(3), pp.186, 2019.
- [8] Pankaj Kumar Keshri, Sanjay Kumar Sahu & Richa Chandel, "CSRR-Loaded Compact Quad Port MIMO Diversity Antenna for UWB Applications", IETE Journal of Research, 2021.
- [9] Mekala Ananda Reddy, Albert Ruth Jency, Sharma Shabdita, and Ramasamy Pandeewari, "A Novel CSRR Loaded Compact ACS Fed Monopole Antenna for Sub-6 GHz 5G Applications," Progress in Electromagnetics Research Letters, Vol. 106, 89-95, 2022.
- [10] Ramesh Grag, Prakash Bhartia, Inder Bahl, Apisak Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook," Artech House Antennas and Propagation Library, 2001.
- [11] Satish K. Jain, Ayush Shrivastava, and Gautam Shrivastava, "Miniaturization of Microstrip Patch Antenna using Metamaterial loaded with SRR," Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2015 International Conference on, pp.1224-1227, Sep 2015.
- [12] Costas M Soukoulis, Jiangfeng Zhou, Thomas Koschny, Maria Kafesaki and Eleftherios N Economou, "The science of negative index materials", Journal of Physics, vol.20, no.30, July 2008.
- [13] Biswajeet Mukherjee, Pragati Patel and Jayanta Mukherjee, "Novel Hemispherical Dielectric Resonator Antenna with Complementary Split-Ring-Shaped Slots and Resonator for Wideband and Low Cross-Polar Applications", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 57, No. 1, February 2015.

#### DESIGNING A PENTA-BAND ANTENNA USING CSRR STRUCTURE FOR IOT/ IIOT

**Abstract:** IIoT (Industrial Internet of Things) is a development step of IoT (Internet of Things) in the industry 4.0 era. It brings an improvement in management,

flexible and automatic data exchange in manufactures, factories, and other industrial fields. To do this, multi-band antennas for multi-communication technologies in IoT/IIoT wireless systems are significant parts that get a lot of attentions from researchers. In this paper, a penta-band antenna is proposed for IoT/IIoT applications. The antenna uses CSRR (Complementary Split Ring Resonator) to achieve compact size and five resonant frequencies. They are 2.45GHz, 3.598GHz, 5.446GHz, 5.761GHz, and 6.33GHz operating bands which are well-known bands for IoT/IIoT communication. All resonant frequencies are calculated draft based on LC equivalent circuits and optimized by CST simulation.

## THÔNG TIN TÁC GIẢ



**Dương Thị Thanh Tú** tốt nghiệp đại học, thạc sĩ chuyên ngành Điện tử viễn thông tại trường Đại học Bách Khoa và đại học Quốc gia Hà nội lần lượt vào năm 1999 và 2005. Cô nhận bằng Tiến sĩ vào tháng 4 năm 2019 của Viện Điện tử Viễn thông trường Đại học Bách

Khoa Hà nội. Cô hiện tại là giảng viên chính của Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Hướng nghiên cứu chuyên sâu của cô bao gồm anten, anten MIMO và mảng anten; các cấu trúc dải chắn và vật liệu có cấu trúc đặc biệt.



**Nguyễn Thị Hằng** tốt nghiệp đại học ngành Điện tử Truyền thông tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông vào năm 2017. Cô hiện là kỹ sư dữ liệu tại Techcombank. Một trong các hướng nghiên cứu của cô là anten với cấu trúc siêu vật liệu.



**Trần Quang Hưng** tốt nghiệp đại học chuyên ngành Điện tử Viễn thông tại Trường Đại học Bách Khoa Hà nội vào năm 2003, tốt nghiệp thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật thông tin tại Học viện Kỹ thuật Quân sự năm 2006. Hiện tại, anh là giám đốc

Trung tâm Kỹ thuật Truyền dẫn Phát sóng, Đài Truyền hình Việt nam. Hướng nghiên cứu hiện nay của anh bao gồm kỹ thuật siêu cao tần và truyền thông quảng bá.