

# NGHIÊN CỨU, CHẾ TẠO HỆ THỐNG TRUYỀN NĂNG LƯỢNG KHÔNG DÂY DỰA TRÊN HIỆU ỨNG CỘNG HƯỞNG TỪ Ở KHOẢNG CÁCH TRUNG BÌNH

## ANALYSIS AND EXPERIMENTS ON MID-RANGE WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM BASED ON MAGNETIC RESONANCE

Hà Thị Kim Duyên<sup>1</sup>, Phạm Thị Thanh Huyền<sup>1</sup>, Đặng Cẩm Thạch<sup>1</sup>, Nguyễn Duy Khánh<sup>1</sup>, Nguyễn Thảo Duy<sup>1</sup>, Phạm Thanh Sơn<sup>2,\*</sup>

### TÓM TẮT

Truyền tải điện năng không dây là cách truyền tải năng lượng điện từ một nguồn phát tới một hoặc nhiều thiết bị tiêu thụ mà không cần sử dụng dây dẫn. Do đó, các hệ thống này mang đến rất nhiều thuận tiện cho cuộc sống hiện đại. Hơn nữa, trong một số trường hợp đặc biệt khi không thể sử dụng dây dẫn thì truyền năng lượng không dây là một lựa chọn tối ưu. Hệ thống truyền năng lượng không dây được chia làm ba loại: khoảng cách gần, khoảng cách trung bình và khoảng cách xa. Trong bài báo này chúng tôi tập trung nghiên cứu hệ thống truyền năng lượng không dây ở khoảng cách trung bình, nguyên lý của hệ thống dựa trên hiệu ứng cộng hưởng từ. Chúng tôi đã chế tạo thành công bộ truyền điện không dây ở khoảng cách 0,5m, đạt hiệu suất trên 50%. Hệ thống này có thể được ứng dụng trong công nghiệp và cuộc sống hàng ngày giúp cho hệ thống điện sẽ trở nên gọn nhẹ và tăng tính thẩm mỹ.

**Từ khóa:** Truyền năng lượng không dây; cộng hưởng từ.

### ABSTRACT

Wireless power transfer provides a method of transmitting electrical energy from a source to one or more consumer devices without the wires. Therefore, these systems bring a lot of convenience to modern life. Moreover, in some special cases where wires cannot be used, wireless power transfer is an optimal option. The wireless power transfer system is divided into three types: short-range, mid-range and long-range. In this paper, we focus on the wireless power transfer system at mid-range, the principle of the system is based on magnetic resonance effect. We have successfully fabricated a wireless power transfer system at a distance of 0.5m, achieving efficiency above 50%. This system can be applied in industry and daily life helping the electrical system becomes compact and increase aesthetics.

**Keywords:** Wireless power transfer; magnetic resonance.

<sup>1</sup>Khoa Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

\*Email: sonpt@ims.vast.ac.vn

Ngày nhận bài: 15/01/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/6/2020

Ngày chấp nhận đăng: 18/8/2020

### KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$R_a$	$\mu\text{m}$	Độ nhám bề mặt
U	V	Hiệu điện thế
I	A	Cường độ dòng điện

### CHỮ VIẾT TẮT

WPT	Wireless power transfer
KHCN	Khoa học công nghệ

### 1. GIỚI THIỆU

Truyền tải năng lượng không dây là cách truyền tải năng lượng điện từ một nguồn điện tới thiết bị tiêu thụ điện mà không sử dụng dây truyền dẫn. Ngày nay, nghiên cứu về công nghệ truyền tải điện không dây là vấn đề quan trọng để phát triển hệ thống điện trong tương lai. Việc này sẽ giảm thiểu được chi phí trong thiết kế, thi công các công trình về điện dân dụng và công nghiệp. Từ đó, quá trình sử dụng điện sẽ tiện lợi hơn, hệ thống điện không phải đấu nối dây dẫn phức tạp khi số lượng thiết bị điện tăng lên. Đối với các ứng dụng tầm ngắn hiện đại, truyền tải điện cảm ứng (IPT) hệ thống và hệ thống sạc không dây cho thiết bị cầm tay các thiết bị như điện thoại di động đã thu hút nhiều sự chú ý từ những năm 1990 và 2000. Công nghệ sạc không dây cho các thiết bị điện tử cầm tay đã đạt đến giai đoạn thương mại hóa thông qua việc ra mắt tiêu chuẩn Qi của Liên minh năng lượng không dây, hiện bao gồm hơn 135 các công ty trên toàn thế giới [1-4].

Truyền năng lượng không dây có thể được phân chia theo khoảng cách truyền sau: truyền năng lượng không dây hoạt động trong phạm vi milimet tới centimet (Short-range WPT), phạm vi trung bình từ centimet tới met (Mid-range WPT) và phạm vi xa từ mét đến km (Long-range WPT). Đối với khoảng cách truyền là cự li ngắn phạm vi truyền trong khoảng cách truyền từ vài mm đến cm tần số hoạt động là KHz và hiệu suất truyền cao từ 50 - 99%. Loại

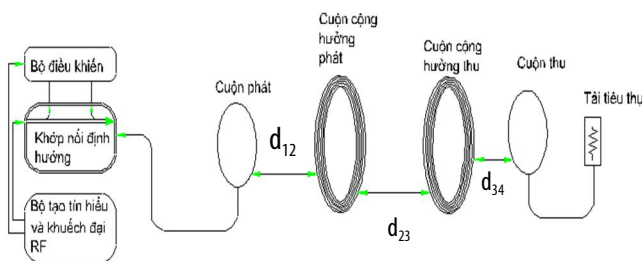
truyền này đang được áp dụng rất nhiều trong các bộ sạc cho các thiết bị điện tử yêu cầu khoảng cách gần với tiêu chuẩn Qi ra đời. Khoảng cách trung bình có tần số hoạt động cỡ MHz và đạt hiệu suất truyền 10 tới 90%, được áp dụng cho các hệ thống truyền điện với các khoảng cách truyền không quá lớn và rất phổ biến trong các căn hộ thông minh, và đã đưa vào áp dụng cho các bộ sạc không dây đối phương tiện giao thông. Khoảng cách xa đạt hiệu suất khá thấp < 5% và tần số hoạt động phải lớn hơn GHz. Phạm vi ứng dụng là cho các vệ tinh với khoảng cách truyền xa và không yêu cầu hiệu suất cao [5-8].

Truyền năng lượng không dây ở khoảng cách trung bình gần đây đã thu hút sự chú ý của các nhà nghiên cứu, hệ thống đạt được hiệu quả truyền cao ở khoảng cách truyền mong muốn. Hạn chế chính của phát hiện này là thiết lập cổng kênh và bất đồng. Song gần đây đã phát hiện ra một cấu trúc hốc cộng hưởng để tăng cường hiệu suất của hệ thống truyền năng lượng không dây ở khoảng cách trung bình. Phạm và đồng nghiệp đã trình bày một hệ thống truyền năng lượng không dây với sự có mặt của các hốc cộng hưởng với vật liệu biến hóa có từ thẩm âm để tăng cường hiệu suất của hệ thống.

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày về hệ thống truyền năng lượng không dây ở khoảng cách trung bình với cấu trúc bốn cuộn dây có phối hợp trở kháng. Các phân tích lý thuyết và phương pháp tính toán thông số của hệ thống để đảm bảo hiệu suất truyền tải tốt nhất sẽ được thực hiện. Chúng tôi cũng tiến hành mô phỏng hệ thống truyền năng lượng không dây gồm bốn cuộn dây bằng phần mềm thương mại CST Studio Suite. Dựa trên kết quả mô phỏng, chúng tôi đã chế tạo hệ thống truyền năng lượng không dây ở khoảng cách 30cm với hệ số truyền qua 0,7.

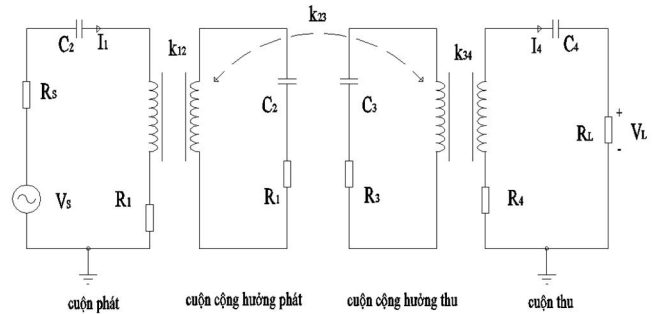
**2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT/PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

Hình 1 là sơ đồ hệ thống truyền tải điện không dây gồm bốn bộ cộng hưởng. Khoảng cách giữa cuộn phát và bộ cộng hưởng phát được ký hiệu là  $d_{12}$  và khoảng cách từ cuộn cộng hưởng nhận đến cuộn thu là  $d_{34}$ . Khoảng cách giữa hai bộ cộng hưởng phát và thu được ký hiệu là  $d_{23}$ , đó là khoảng cách mà chúng ta quan tâm để truyền tải điện.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống WPT 4 cuộn

Hình 2 trình bày sơ đồ mạch đơn giản hóa của hệ thống truyền tải điện không dây cộng hưởng từ. Các tham số của mỗi cuộn dây được biểu thị bằng các phần tử  $R_i, L_i, C_i$  ( $i = 1 - 4$ ). Các hệ số ghép cặp của các cuộn được biểu diễn bằng  $k_{12}, k_{23}, k_{34}$ .



Hình 2. Mạch tương đương của hệ thống WPT 4 cuộn dây

Điện áp cấp vào là  $V_s$  và điện trở nguồn và tải lần lượt là  $R_s$  và  $R_L$ . Đối với bộ cộng hưởng có hệ số phẩm chất (Q) rất cao và điều kiện trở kháng nguồn / tải thực tế, chúng ta có  $R_1 \ll R_s$  và  $R_4 \ll R_L$ , do đó  $(R_1 + R_s \approx R_s)$  và  $(R_1 + R_L \approx R_L)$ .

Dựa trên sơ đồ mạch điện ở hình 2 ta có:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{24} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} \\ Z_{41} & Z_{42} & Z_{43} & Z_{44} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_s \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Ở tần số cộng hưởng,  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_i C_i}}$ , có được các biểu

thức sau đây:

$$\begin{aligned} Z_{11} &= R_s; Z_{22} = R_2; Z_{33} = R_3 \\ Z_{44} &= R_L; Z_{13} = Z_{14} = Z_{24}; \\ Z_{12} &= j\omega k_{12} \sqrt{L_1 L_2}; \\ Z_{23} &= j\omega k_{23} \sqrt{L_2 L_3}; \\ Z_{34} &= j\omega k_{34} \sqrt{L_3 L_4}; \end{aligned} \tag{2}$$

Giải phương trình (1) và (2), chúng ta có thể tìm thấy dòng điện chạy  $I_1$  và cuộn tải  $I_4$  như sau:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{(1 + k_{23}^2 Q_2 Q_3 + k_{34}^2 Q_3 Q_4)}{[(1 + k_{12}^2 Q_1 Q_2)(1 + k_{34}^2 Q_3 Q_4) + k_{23}^2 Q_2 Q_3]} \frac{V_s}{R_s} \\ I_4 &= \frac{k_{12} k_{23} k_{34} \sqrt{Q_1 Q_2} \sqrt{Q_2 Q_3} \sqrt{Q_3 Q_4}}{[(1 + k_{12}^2 Q_1 Q_2)(1 + k_{34}^2 Q_3 Q_4) + k_{23}^2 Q_2 Q_3]} \frac{jV_s}{\sqrt{R_s R_L}} \end{aligned} \tag{3}$$

Trong đó:  $Q_i = \omega \frac{L_i}{R_i}$

Khi hệ thống đối xứng, sao cho  $Q_1 = Q_2; Q_3 = Q_4$  và  $k_{12} = k_{34}$ , hệ số điện áp giữa nguồn và tải của hệ thống là:

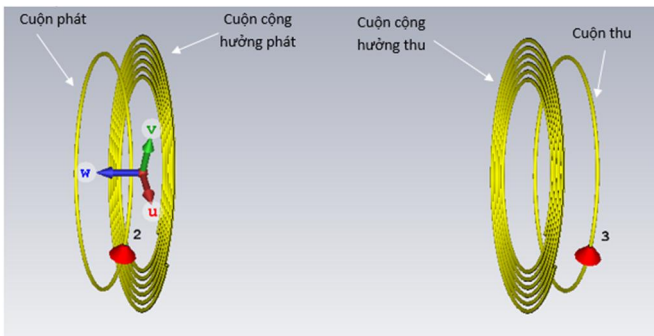
$$\left| \frac{V_L}{V_s} \right| = \left| \frac{I_4 R_L}{I_1 R_s} \right| = \frac{k_{23} k_{12}^2 Q_1 Q_2^2}{(1 + k_{12}^2 Q_1 Q_2)^2 + k_{23}^2 Q_2^2} \sqrt{\frac{R_L}{R_s}} \tag{4}$$

Hiệu suất truyền tải năng lượng  $\eta$  (tỷ lệ của công suất đầu ra  $P_{OUT}$  và công suất đầu vào  $P_{IN}$ ) được xác định:

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{V_L^2 / R_L}{V_s^2 / 4R_s} = |S_{21}|^2 \tag{5}$$

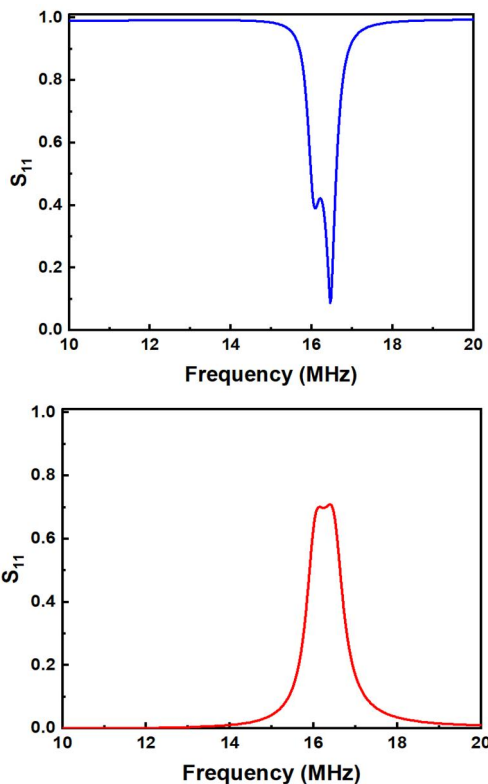
### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU/TÍNH TOÁN/MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Để thiết kế hệ thống trước hết chúng tôi tiến hành mô phỏng nhằm đánh giá các thông số của hệ thống 4 cuộn dây cũng như nghiên cứu sự thay đổi của hiệu suất truyền công suất có thể đạt được tại cuộn tải khi khoảng cách giữa cuộn tải và cuộn phát thay đổi. Kết quả mô phỏng của truyền tải điện không dây được trình bày bằng cách sử dụng phần mềm mô phỏng thiết kế ăng ten CST studio suite ở các khoảng cách truyền khác nhau trong phạm vi 30 - 70cm. Nghiên cứu so sánh hệ số phản xạ và truyền qua trong phạm vi 30cm, 50cm và 70cm được trình bày và thảo luận.



Hình 3. Hệ thống 4 cuộn trên phần mềm mô phỏng trên CST

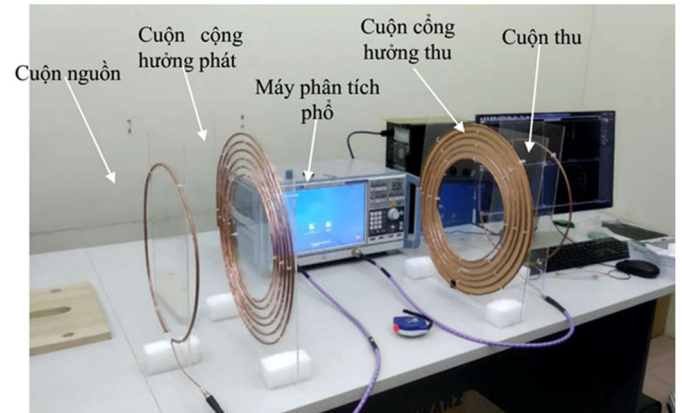
Hình 3 là sơ đồ hệ thống truyền năng lượng không dây ở khoảng cách trung bình được mô phỏng bằng phần mềm CST (CST STUDIO SUITE). Hệ thống gồm 4 cuộn dây, với cuộn phát và cuộn thu có cấu trúc là 1 vòng dây bán kính 15cm, trong khi cuộn cộng hưởng phát và cuộn cộng hưởng thu gồm 6 vòng xoắn ốc với bán kính ngoài 20cm



Hình 4. Kết quả mô phỏng hiệu suất truyền với khoảng cách 30cm

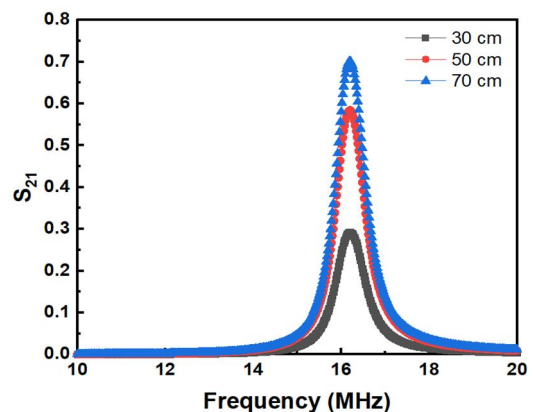
Các kết quả mô phỏng truyền năng lượng không dây với khoảng cách truyền là 30cm với hệ số phản xạ và truyền qua được hiển thị trong hình 4. Mô phỏng kết quả cho thấy cộng hưởng từ xảy ra ở  $\approx 16$ MHz và tham số  $S_{21}$  được truyền từ nguồn đến cuộn dây là 0,72.

Với kết quả thu được từ việc mô phỏng trên phần mềm CST chúng tôi đã chế tạo được hệ thống truyền năng lượng không dây dựa trên hiệu ứng cộng hưởng từ như hình 5.



Hình 5. Hệ thống truyền năng lượng không dây dựa trên hiệu ứng cộng hưởng từ

Hình 6 là các kết quả đo đạc của hệ thống với 3 khoảng cách khảo sát 30cm, 50cm và 70cm. Với khoảng cách truyền là 30cm chúng tôi thu được hệ số truyền qua đạt  $\approx 0,7$ . Với khoảng cách là 50cm thì hệ số truyền qua đã giảm xuống còn khoảng  $\approx 0,6$ . Khi khoảng cách truyền tăng lên 70cm thì hệ số truyền qua tiếp tục giảm xuống còn  $\approx 0,3$ . Sự giảm xuống của hiệu suất truyền dẫn khi tăng khoảng cách truyền là do hệ số ghép cặp giữa cuộn cộng hưởng phát và cuộn cộng hưởng thu suy giảm nhanh chóng khi tăng khoảng cách truyền dẫn.



Hình 6. Hiệu suất truyền với khoảng cách 30cm, 50cm, 70cm

### 4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Bài báo này trình bày một giải pháp hiệu quả để truyền năng lượng cho các thiết bị điện mà không cần dây dẫn. Hệ thống năng lượng không dây tầm trung được nghiên cứu bằng cả phân tích lý thuyết và thực nghiệm. Các kết quả mô phỏng sử dụng phần mềm CST được sử dụng để định hướng cho chế tạo thực nghiệm. Các kết quả đo đạc thực

nghiệm hệ thống chế tạo được khá phù hợp với các kết quả mô phỏng trước đó. Hệ thống truyền năng lượng không dây được khảo sát với các khoảng cách truyền khác nhau từ 0,3 - 0,7m. Bằng cách điều chỉnh cẩn thận các thông số mạch để đạt được phối hợp trở kháng năng lượng có thể truyền không dây qua khoảng cách 0,7m với hệ số truyền qua  $\approx 0,3$ . Chúng tôi tin rằng hệ thống này có thể tìm thấy các ứng dụng rộng rãi trong công nghệ không dây trong tương lai trong lưới điện thông minh.

---

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Duong Phi Thuc, 2015. *Analysis and Experiment of High-Efficiency, Free-Positioning, Power Division Mid-Range Wireless Power Transfer System*. Department of Electronic and Radio Engineering Graduate School Kyung Hee University Yongin, Gyeonggi, Korea 446 - 701.
- [2]. Alanson P. Sample, David A. Meyer, Joshua R. Smith, 2011. *Analysis, Experimental Results, and Range Adaptation of Magnetically Coupled Resonators for Wireless Power Transfer*. IEEE Transactions on Industrial Electronics Vol 58, Issue 2.
- [3]. Morris Kesler, 2013. *Highly Resonant Wireless Power Transfer: Safe, Efficient, and over Distance*. WiTricity Corporation
- [4]. S. Y. R. Hui, Fellow, Wenxing Zhong, C. K. Lee, 2014. *A Critical Review of Recent Progress in Mid-Range Wireless Power Transfer*. IEEE Transactions on Power Electronics Vol 29, Issue 9
- [5]. Wenxing Zhong, C. K. Lee, 2014. *A Critical Review of Recent Progress in Mid-Range Wireless Power Transfer*. IEEE Transactions on Power Electronics Vol 29, Issue 9
- [6]. Paulo J. Abatti Sérgio, F. Pichorim, Caio M. de Miranda, 2015. *Maximum Power Transfer versus Efficiency in Mid-Range Wireless Power Transfer Systems*. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications Vol 14, No 1.
- [7]. Yeonje Cho, Seongsoo Lee, Seungtaek Jeong, Hongseok Kim, Chiuk Song, Kibum Yoon, Jinwook Song, Sunkyu Kong, Yeojin Yun, Joungho Kim, 2016. *Hybrid Metamaterial with Zero and Negative Permeability to Enhance Efficiency in Wireless Power Transfer System*. 2016 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC).
- [8]. Zhongtao Liu, Zheng Zhong, Yong Xin Guo, 2016. *Rapid design approach of optimal efficiency magnetic resonant wireless power transfer system*. Electronics Letters 52(4):314-315.
- [9]. Jinpeng Guo, Linlin Tan, Han Liu, Wei Wang, Xueliang Huang, 2016. *Stabilization Control of Output Power in Double-Source Wireless Power Transfer Systems Without Direct Output Feedback*. IEEE Microwave and Wireless Components Letters Vol 26, Issue 11.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Ha Thi Kim Duyen<sup>1</sup>, Pham Thi Thanh Huyen<sup>1</sup>, Dang Cam Thach<sup>1</sup>,  
Nguyen Duy Khanh<sup>1</sup>, Nguyen Thao Duy<sup>1</sup>, Pham Thanh Son<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Electronics Engineering Technology, Hanoi University of Industry

<sup>2</sup>Institute of Materials Science, Institute of Vietnam Academy of Science and Technology