

Nghiên cứu công nghệ truyền năng lượng không dây định hướng ứng dụng cho các thiết bị khai thác hầm lò

Bùi Hữu Nguyễn^{1,2*}, Nguyễn Mạnh Hùng¹, Tống Bá Tuấn¹

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Trường Đại học Kyung Hee, Hàn Quốc

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực khai thác khoáng sản hầm lò như khai thác than, khai thác dầu khí, vấn đề an toàn cháy nổ được đưa lên hàng đầu bởi vì mức độ nguy hiểm và thiệt hại hết sức nghiêm trọng, to lớn về người và tài sản nếu như xảy ra tai nạn. Một trong những nguyên nhân chủ yếu của tai nạn cháy nổ trong hầm lò là do sự rò rỉ điện năng từ những điểm đóng ngắt trong các thiết bị chiếu sáng, thiết bị khai thác, làm phát sinh các tia lửa điện gây cháy nổ khí tồn tại trong các đường ống, đường hầm khai thác.

Trong báo cáo này, chúng tôi nghiên cứu công nghệ truyền năng lượng không dây (WPT) ứng dụng trong quá trình khai thác và sản xuất khoáng sản hầm lò nhằm nâng cao mức độ an toàn truyền tải điện năng và giảm thiểu tai nạn cháy nổ. Công nghệ WPT kết nối giữa các thiết bị tiêu thụ điện năng thông qua cộng hưởng từ trường, điện trường trên các cuộn ăng-ten mà không cần sử dụng các thiết bị đóng ngắt tiếp xúc điện như công tắc, aptomat. Sử dụng tần số $f_0 = 13,5$ MHz, với hệ thống 4 cuộn cộng hưởng chúng tôi đạt được hiệu suất truyền dẫn 92% ở khoảng cách truyền 22 cm.

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

1. Giới thiệu

Công nghệ WPT được đề xuất và thực nghiệm bởi Nikola Tesla vào năm 1891 (Tesla 1891). Công nghệ WPT giúp cung cấp năng lượng điện tới các thiết bị mà không cần kết nối bằng dây dẫn hoặc cáp điện, vì vậy công nghệ này rất tiện lợi cho rất nhiều ứng dụng như trong công nghiệp (Kindl et al. 2020; Wu et al. 2020) và dân dụng (BAYRAKTAR and YILDIRIZ 2020; Hasaba et al. 2019), cũng như trong một số lĩnh vực đặc biệt như y học (Zhang et al. 2019), quân sự (Masrur and Cox 2019), v.v.. Cho đến nay, công nghệ WPT đã thu hút nhiều nhà khoa học nghiên cứu và phát triển vì khả năng ứng dụng mạnh mẽ của chúng. Trong tương lai, WPT sẽ là một trong những công nghệ tiên tiến góp phần vào sự phát triển nền văn minh nhân loại.

Gần đây, việc khai thác khoáng sản hầm lò được sử dụng nhiều hơn do những khó khăn trong việc khai thác lộ thiên đã đạt đến độ sâu “tới hạn” cả về thiết bị kỹ thuật lẫn tính kinh tế. Trong hầm lò khai thác khoáng sản như hầm lò khai thác than, có nhiều loại khí tích tụ trong đường lò, nhiều túi khí trong lòng đất dễ cháy nổ như khí metan. Nguy cơ cháy nổ khí metan, nổ bụi than là rất cao khi phát sinh sự rò rỉ điện năng từ những điểm đóng ngắt trong hệ thống điện mỏ. Vì vậy, việc nghiên cứu ứng dụng công nghệ không dây WPT trong truyền tải điện năng ở các mỏ hầm lò nhằm nâng cao mức độ an toàn truyền tải điện, giảm thiểu nguy cơ tai nạn cháy nổ do tia lửa điện là cần thiết, có khả năng ứng dụng, tính hiệu quả cao và là xu thế của thời đại. Ngoài lĩnh vực khai thác khoáng sản hầm lò, công nghệ WPT còn có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác do việc truyền năng lượng không dây có thể thực hiện trong các môi trường khí có nồng độ cao và các môi trường lỏng như nước biển.

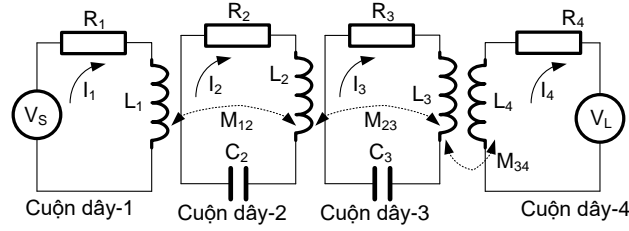
2. Mô hình lý thuyết và phương pháp mô phỏng

2.1. Mô hình lý thuyết mạch điện tương đương

Hệ thống WPT sử dụng bốn cuộn dây bao gồm hai cuộn dây ăng-ten Cuộn-1,4 và hai cuộn dây cộng hưởng Cuộn-2,3 có tần số cộng hưởng là $f_0 = 13,5$ MHz. Hình 1 là mô hình mạch điện của hệ thống bốn cuộn dây.

* Bùi Hữu Nguyễn

Email: buihuunguyen@humg.edu.vn



Hình 1. Mô hình mạch điện của hệ thống bốn cuộn dây.

Trở kháng của các cuộn dây được xác định theo công thức:

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_S + R_1 + j\omega L_1; & Z_2 &= R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2}; \\ Z_3 &= R_3 + j\omega L_3 + \frac{1}{j\omega C_3}; & Z_4 &= R_L + R_4 + j\omega L_4 \end{aligned} \quad (1)$$

trong đó R_S, R_L lần lượt là các điện trở trong của nguồn phát và tải.

Hệ số liên kết giữa các cuộn dây được xác định theo công thức:

$$M_{ij} = k_{ij} \sqrt{L_i L_j} \quad (2)$$

Áp dụng định luật Kirchhoff, hệ phương trình điện áp trên các cuộn được xác định theo công thức:

$$\begin{cases} i_1 Z_1 + i_2 j\omega M_{12} = V_S \\ i_2 Z_2 + i_1 j\omega M_{12} + i_3 j\omega M_{23} = 0 \\ i_3 Z_3 + i_2 j\omega M_{23} + i_4 j\omega M_{34} = 0 \\ i_4 Z_4 + i_3 j\omega M_{34} = V_L \end{cases} \quad (3)$$

Giải hệ phương trình (3), ta thu được tỉ số điện áp V_L/V_S như sau:

$$\frac{V_L}{V_S} = \frac{j\omega^3 M_{12} M_{23} M_{34} (R_4 + R_L)}{Z_1 Z_2 Z_3 Z_4 + Z_3 Z_4 \omega^2 M_{12}^2 + Z_1 Z_2 \omega^2 M_{34}^2 + Z_1 Z_4 \omega^2 M_{23}^2 + \omega^4 M_{12}^2 M_{34}^2} \quad (4)$$

Hệ số truyền qua S_{21} được xác định theo công thức sau:

$$|S_{21}| = 2 \frac{V_L}{V_S} \sqrt{\frac{R_S}{R_L}} \quad (5)$$

Để đạt hiệu quả khi đo thông số S_{21} , điện trở trên các ăng-ten cần giá trị như sau:

$$R_S + R_1 \approx R_L + R_4 \approx 50(\Omega)$$

Công thức tính hiệu suất PTE của hệ thống được xác định theo công thức sau:

$$PTE = 100 |S_{21}|^2 \approx 100 \left(2 \frac{V_L}{V_S} \right)^2 \quad (6)$$

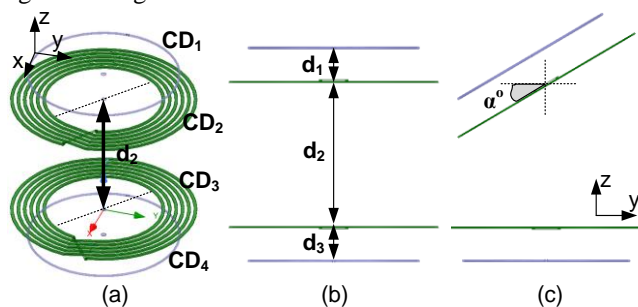
Dựa trên công thức (4), (5) và (6), có thể thấy hiệu suất truyền năng lượng qua hai cuộn dây chịu ảnh hưởng bởi các hệ số liên kết k_{ij} của các cuộn dây cảm ứng trong hệ thống. Các hệ số liên kết k_{ij} phụ thuộc vào khoảng cách và tính chất điện môi của môi trường xung quanh các cuộn dây. Vì vậy, để đạt được hiệu suất truyền năng lượng cao nhất, chúng tôi cần phải tối ưu hóa các hệ số liên kết này. Bằng phương pháp tính toán và mô phỏng, chúng tôi đã khảo sát sự ảnh hưởng của khoảng cách truyền, góc quay giữa các cuộn dây tới hiệu suất của hệ thống.

2.2. Mô hình mô phỏng trên HFSS

Hình 2 mô tả hệ thống WPT sử dụng bốn cuộn dây được xây dựng trong phần mềm mô phỏng HFSS cùng các kí hiệu khoảng cách và góc. Các cuộn dây được làm bằng đồng (Cu) và có đường kính dây quấn là 5 mm. Cuộn CD_1 và CD_4 có kích thước giống nhau. Khi hoạt động, cuộn CD_1 được nối với nguồn công suất phát RF tại tần số 13,5 MHz và cuộn CD_4 được nối với tải.

Hai cuộn cộng hưởng CD_2 và CD_3 giống hệt nhau về thông số vật lí. Mỗi cuộn được thiết kế 6 vòng cùng trên một mặt phẳng và khoảng trống giữa các vòng là 3 mm. Với thiết kế này điện cảm của cuộn dây được xác định bằng phần mềm Q3D là 12,837 μH và giữa hai đầu dây của các cuộn này được hàn với tụ điện có điện dung 10,8 pF để tần số cộng hưởng của các mạch là 13,5 MHz. Thông số kỹ thuật của các

cuộn được mô tả chi tiết trong Bảng 1. Hệ số k_{23} phụ thuộc vào d_2 và α được xác định bằng phần mềm Q3D, mô tả chi tiết trong Bảng 2 và Bảng 3.



Hình 2. (a) Mô hình mô phỏng của hệ thống truyền năng lượng sử dụng bốn cuộn dây, (b) khoảng cách giữa các cuộn dây, (c) góc quay α giữa các cuộn dây.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của các cuộn dây

	Cuộn-1 (CD_1)	Cuộn-2 (CD_2)	Cuộn-3 (CD_3)	Cuộn-4 (CD_4)		
R (Ω)	50	0,56	0,56	50		
L (μH)	0,685	12,837	12,837	0,685		
C (pF)	-	10,8	10,8	-		
Tần số cộng hưởng (MHz)	-	13,5	13,5	-		
Số vòng	1	6	6	1		
Bán kính cuộn dây (cm)	13	10	10	13		
Bán kính tiết diện dây (mm)	2	2	2	2		
Khe hở giữa các vòng (mm)	-	3	3	-		
k_{12}	k_{23}	k_{34}	d_1 (cm)	d_2 (cm)	d_3 (cm)	α ($^\circ$)
0,328	0,068	0,328	5	22	5	0-90

Bảng 2. Sự thay đổi giá trị hệ số liên kết k_{23} theo khoảng cách d_2 .

d_2 (cm)	5	6	7	8	9	10	11	12	13
k_{23}	0,45	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16
d_2 (cm)	14	15	16	17	18	19	20	21	22
k_{23}	0,14	0,13	0,12	0,11	0,099	0,09	0,082	0,075	0,068
d_2 (cm)	23	24	25	26	27	28	29	30	
k_{23}	0,062	0,057	0,053	0,048	0,045	0,041	0,038	0,036	

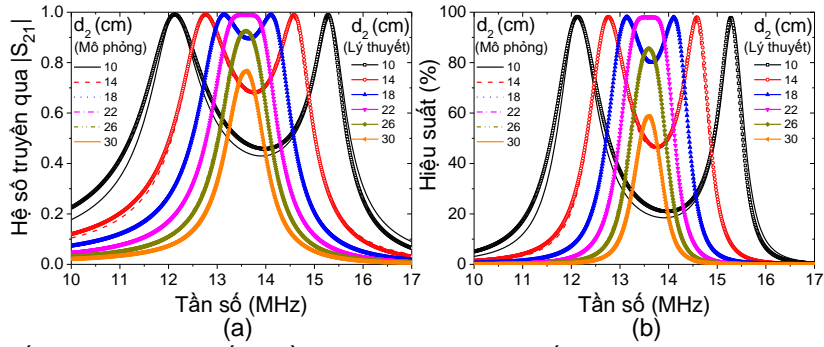
Bảng 3. Sự thay đổi giá trị hệ số liên kết k_{23} theo góc quay α .

α ($^\circ$)	0	10	20	30	40
k_{23}	0,0686	0,0685	0,0686	0,0685	0,0674
α ($^\circ$)	50	60	70	80	90
k_{23}	0,0638	0,0554	0,041	0,021	0,002

Chúng tôi thiết lập chương trình mô phỏng với dải tần số từ 10 đến 17 MHz với bước nhảy là 0,02 MHz. Để khảo sát sự ảnh hưởng của khoảng cách giữa các cuộn đến hiệu suất truyền năng lượng, chúng tôi cố định khoảng cách d_1 và d_3 trong khi d_2 thay đổi từ 5 đến 30 cm. Trường hợp khảo sát sự ảnh hưởng của góc quay α tới hiệu suất truyền năng lượng, chúng tôi đặt khoảng cách $d_2 = 22$ cm và thay đổi góc quay α từ 0 đến 90 độ. Các kết quả đạt được được chúng tôi thảo luận ở phần tiếp theo.

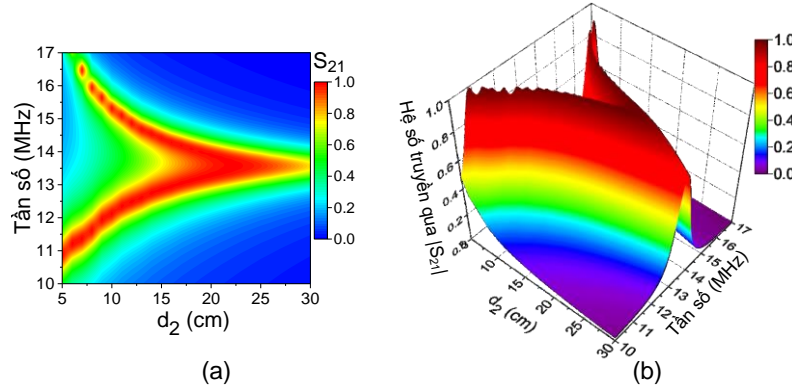
3. Kết quả và thảo luận

Hình 3 là kết quả so sánh hệ số truyền qua S_{21} và hiệu suất truyền năng lượng PTE khi khoảng cách d_2 thay đổi. Kết quả cho thấy trùng khớp giữa phương pháp mô phỏng và phương pháp tính toán lý thuyết theo mô hình mạch điện tương đương. Ở Hình 3(a), hệ số truyền qua S_{21} giảm khi khoảng cách d_2 tăng lên. Điều này được giải thích là do hệ số liên kết k_{23} giữa cuộn cộng hưởng CD_2 và CD_3 giảm khi d_2 tăng. Theo kết quả mô phỏng khi d_2 tăng từ 22 đến 30 cm thì S_{21} giảm tương ứng từ 0,99 tới 0,77, và theo kết quả tính toán bằng công thức (5) thì S_{21} giảm tương ứng từ 0,98 tới 0,77 tại tần số 13,5 MHz. Có thể thấy rằng, kết quả mô phỏng khá trùng khớp với kết quả tính toán theo công thức lý thuyết.



Hình 3. (a) Kết quả so sánh hệ số truyền qua S_{21} và (b) hiệu suất PTE giữa hai phương pháp mô phỏng và tính toán lý thuyết khi thay đổi khoảng cách truyền năng lượng d_2 .

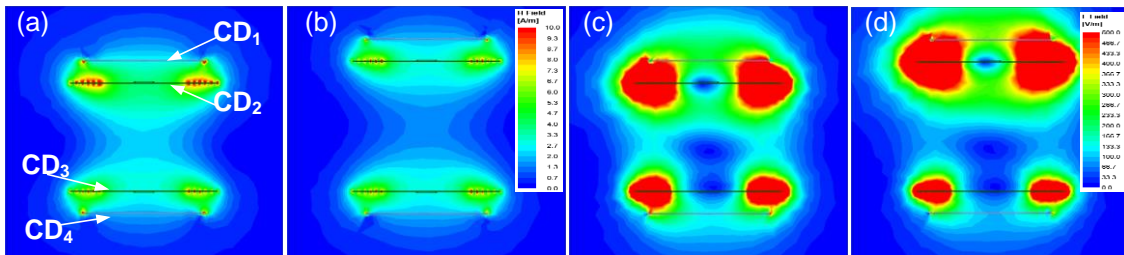
Hình 3(b) là kết quả so sánh PTE giữa mô phỏng và tính toán lý thuyết. Kết quả cho thấy, hiệu suất bị giảm khi khoảng cách d_2 tăng lên. Theo kết quả mô phỏng, khoảng cách d_2 tăng từ 22 đến 30 cm thì PTE giảm tương ứng từ 99 tới 77%, và theo kết quả tính toán theo công thức (6) thì PTE giảm tương ứng từ 98 tới 77% tại tần số 13,5 MHz.



Hình 4. Hệ số truyền qua S_{21} thay đổi theo d_2 trên đồ thị 2-D (a) và trên đồ 3-D (b).

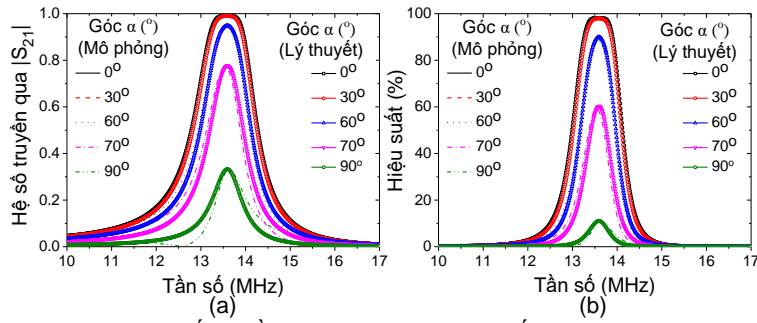
Hình 4 trình bày kết quả khảo sát S_{21} khi d_2 thay đổi từ 5 đến 30 cm. Đồ thị cho thấy khi d_2 tăng từ 22 cm tới 30 cm thì đường đặc tính S_{21} chỉ có một đỉnh cộng hưởng tại 13,5 MHz. Ngược lại khi d_2 giảm từ 22 cm tới 5 cm, trên đường đặc tính S_{21} có hai đỉnh cộng hưởng và khoảng cách giữa hai đỉnh cộng hưởng này tăng dần khi d_2 giảm. Điều này được giải thích khi d_2 giảm dần tới hiện tượng hở cảm giữa hai cuộn dây tăng lên, kết quả là tần số f_0 của hai cuộn dây đã tách thành hai tần số f_L và f_H ($f_L < f_H$) được xác định theo công thức (Hong and Lancaster 2001):

$$k_{23} = \frac{f_H^2 - f_L^2}{f_H^2 + f_L^2} \quad (7)$$



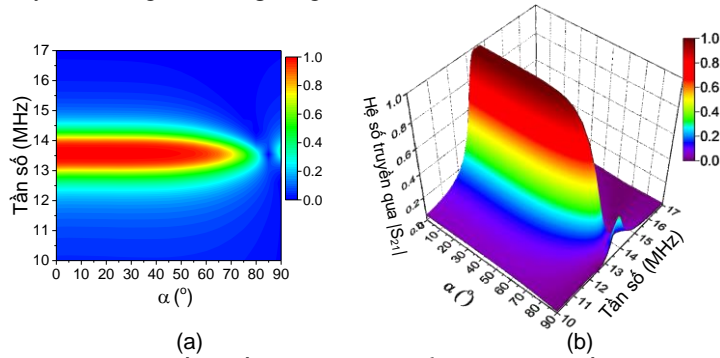
Hình 5. (a)-(b) Phân bố từ trường và (c)-(d) phân bố điện trường trên hệ thống truyền năng lượng tương ứng với $d_2 = 25$ cm và 30 cm.

Hình 5(a)-(b) mô tả sự phân bố mật độ từ trường của hệ thống WPT 4 cuộn dây tương ứng với khoảng cách $d_2 = 25$ và 30 cm tại góc $\alpha = 0^\circ$. Từ đồ thị cho thấy mật độ từ trường phân bố trên cuộn CD_3 và CD_4 tại $d_2 = 25$ cm lớn hơn tại giá trị $d_2 = 30$ cm. Hình 5(c)-(d) mô tả sự phân bố mật độ điện trường của hệ thống. Kết quả cho thấy mật độ điện trường phân bố trên cuộn CD_3 và CD_4 tại $d_2 = 25$ cm cũng lớn hơn tại $d_2 = 30$ cm.



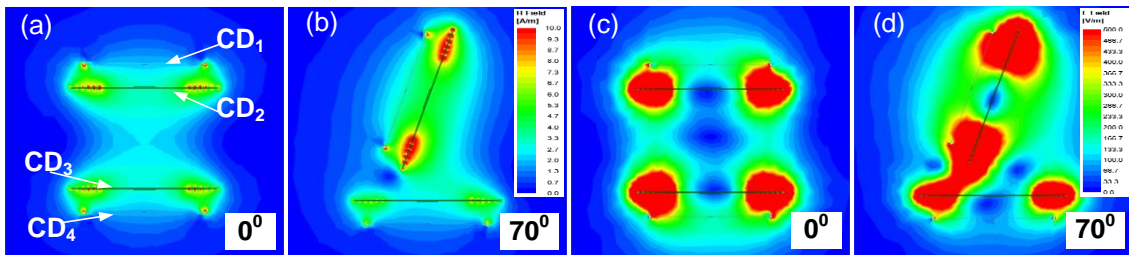
Hình 6. (a) Kết quả so sánh hệ số truyền qua S_{21} và (b) hiệu suất PTE giữa hai phương pháp mô phỏng và tính toán lý thuyết khi thay đổi góc quay α .

Hình 6 mô tả sự so sánh hệ số truyền qua S_{21} và hiệu suất truyền năng lượng PTE khi góc quay α thay đổi. Kết quả cho thấy trùng khớp giữa phương pháp mô phỏng và phương pháp tính toán lý thuyết theo mô hình mạch điện tương đương. Hình 6(a) cho thấy hệ số truyền qua S_{21} bị giảm khi góc quay α tăng lên. Điều này được giải thích là do hệ số liên kết k_{23} giữa cuộn cộng hưởng CD_2 và CD_3 giảm khi α tăng. Theo kết quả mô phỏng khi $\alpha = 0, 30, 60, 70$ và 90° thì S_{21} giảm tương ứng là 0,99, 0,98, 0,94, 0,77 và 0,33. Theo kết quả tính toán lý thuyết thì S_{21} giảm tương ứng từ 0,98, 0,97, 0,95, 0,78, và 0,33 tại tần số 13,5 MHz.



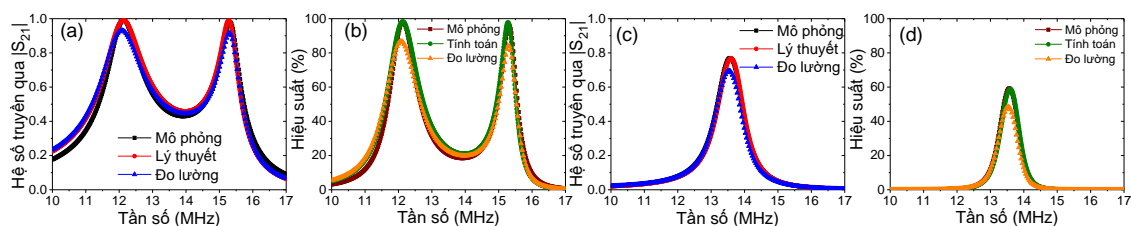
Hình 7. (a) Kết quả khảo sát hệ số truyền qua S_{21} thay đổi theo α trên đồ thị 2-D và (b) trên đồ 3-D.

Hình 7 mô tả kết quả khảo sát S_{21} khi α thay đổi từ 0 đến 90° tại khoảng cách $d_2 = 22$ cm. Kết quả cho thấy khi góc α tăng dần từ 0 đến 50° thì hệ số truyền S_{21} suy giảm không đáng kể. Khi góc α tăng từ 30° đến 80° thì hệ số truyền qua suy giảm nhanh và gần như bằng 0 tại góc $\alpha = 80^\circ$ và cho tới 90° . Nguyên nhân là do khi góc α tăng dần, lượng từ thông của cuộn CD_2 quét qua cuộn CD_3 giảm dần, vì vậy S_{21} suy giảm tương ứng. Đặc biệt, khi góc α trong khoảng $80-90^\circ$ gần như từ thông từ cuộn CD_2 không quét qua cuộn CD_3 , do đó S_{21} gần như bằng không.



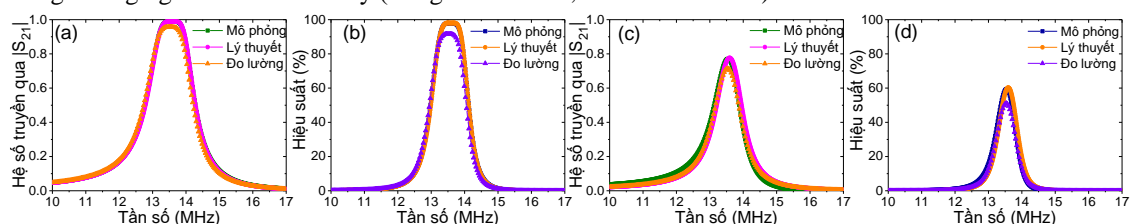
Hình 8. (a)-(b) Phân bố từ trường và (c)-(d) phân bố điện trường trên hệ thống truyền năng lượng tương ứng với góc $\alpha = 0^\circ$ và 70° .

Hình 8(a)-(b) mô tả sự phân bố mật độ từ trường của hệ thống WPT 4 cuộn dây tương ứng với góc $\alpha = 0^\circ$ và 70° tại khoảng cách $d_2 = 22$ cm. Từ đồ thị cho thấy mật độ từ trường phân bố trên cuộn CD_3 và CD_4 tại góc $\alpha = 0^\circ$ lớn hơn tại giá trị góc $\alpha = 70^\circ$. Hình 8(c)-(d) mô tả sự phân bố mật độ điện trường của hệ thống. Kết quả cho thấy mật độ điện trường phân bố trên cuộn CD_3 và CD_4 tại góc $\alpha = 0^\circ$ cũng lớn hơn tại $\alpha = 70^\circ$.



Hình 9. So sánh S_{21} và hiệu suất của kết quả mô phỏng, kết quả tính toán lý thuyết, và kết quả đo tại $d_2 = 10$ cm (a)-(b) và $d_2 = 30$ cm (c)-(d).

Hình 9(a) so sánh hệ số truyền qua S_{21} giữa kết quả mô phỏng, kết quả tính toán lý thuyết và kết quả đo tại khoảng cách $d_2 = 10$ cm. Đồ thị cho thấy kết quả đo tương đối trùng khớp với kết quả mô phỏng và tính toán lý thuyết. Trên đường đặc tính S_{21} , ta thấy xuất hiện hai đỉnh cộng hưởng tại 12,1 và 15,3 MHz tương ứng với S_{21} từ kết quả mô phỏng là 0,99 và 0,91, và kết quả đo là 0,93 và 0,91. Hình 9(b) so sánh hiệu suất tương ứng tại khoảng cách $d_2 = 10$ cm, kết quả cho thấy hiệu suất đo được lớn nhất tại 12,1 và 15,3 MHz tương ứng là 86,49 và 82,81 %. Hình 9(c) so sánh hệ số truyền qua S_{21} giữa các kết quả mô phỏng, kết quả tính toán lý thuyết và kết quả đo tại khoảng cách $d_2 = 30$ cm. Trên đường đặc tính S_{21} , ta thấy xuất hiện một đỉnh cộng hưởng tại 13,5 MHz tương ứng với S_{21} từ kết quả mô phỏng là 0,77, và kết quả đo là 0,7. Hình 9(d) so sánh hiệu suất tương ứng tại khoảng cách $d_2 = 30$ cm, kết quả cho thấy hiệu suất đo được tại 13,5 MHz là 59,29 %. Sử dụng phương pháp phối hợp trở kháng trên các cuộn CD_1 và CD_4 , kết quả nghiên cứu thu được hiệu suất truyền năng lượng cao hơn khi so sánh với hệ thống 2, 3, hay 4 cuộn trong những nghiên cứu trước đây (Tang et al. 2016; Kiani et al. 2011).



Hình 10. So sánh S_{21} và hiệu suất của kết quả mô phỏng, kết quả tính toán lý thuyết, và kết quả đo tại $\alpha = 0^\circ$ (a)-(b) và $\alpha = 70^\circ$ (c)-(d), với khoảng cách $d_2 = 22$ cm.

Hình 10(a) so sánh hệ số truyền qua S_{21} giữa các kết quả mô phỏng, kết quả tính toán lý thuyết và kết quả đo tại $\alpha = 0^\circ$ và khoảng cách $d_2 = 22$ cm. Đồ thị cho thấy kết quả đo tương đối trùng khớp với kết quả mô phỏng và tính toán lý thuyết. Giá trị S_{21} từ kết quả mô phỏng là 0,98 và kết quả đo là 0,96. Hình 10(b) so sánh hiệu suất tương ứng tại $\alpha = 0^\circ$, kết quả cho thấy hiệu suất đo được tại 13,5 MHz là 92,16 %. Hình 10(c) so sánh hệ số truyền qua S_{21} giữa các kết quả mô phỏng, kết quả tính toán lý thuyết và kết quả đo tại $\alpha = 70^\circ$. Trên đường đặc tính S_{21} , ta thấy xuất hiện một đỉnh cộng hưởng tại 13,5 MHz tương ứng với S_{21} từ kết quả mô phỏng là 0,77, và kết quả đo là 0,7. Hình 10(d) so sánh hiệu suất tương ứng tại $\alpha = 70^\circ$, kết quả cho thấy hiệu suất đo được tại 13,5 MHz là 49 %.

4. Kết luận

Trong bài báo này chúng tôi đã nghiên cứu xây dựng mô hình lý thuyết và thực nghiệm phân tích hiệu suất của hệ thống WPT 4 cuộn dây, khi thay đổi khoảng cách truyền và góc quay giữa các cuộn. Kết quả đo và mô phỏng trùng khớp với kết quả tính toán lý thuyết. Trong phạm vi khảo sát, hiệu suất của hệ thống đạt được tới 92% tại khoảng cách truyền là 22 cm. Tuy rằng, đây mới là những kết quả nghiên cứu ban đầu, nhưng chúng tôi hy vọng sớm có những ứng dụng truyền năng lượng không dây trong hệ thống điện hầm lò để giảm nguy cơ cháy nổ khí. Trong nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ mở rộng điều kiện bài toán, đưa thêm các tham số ảnh hưởng như nhiệt độ, nồng độ khí, các loại khí,... để tối ưu hóa hệ thống.

Tài liệu tham khảo

- BAYRAKTAR, Murat, and Emin YILDIRIZ, 2020. Constant Current/Voltage Charging of A 250W E-Bike with Wireless Power Transfer. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7, 189-97.
- Hasaba, Ryosuke, Okamoto Katsuya, Tatsuo Yagi, Souichi Kawata, Kazuhiro Eguchi, Yoshio Koyanagi, Takashi Obara, and Tamaki Ura, 2019. *Experimental Study on Underwater Wireless Power Transfer with Degree of Free Position Inside the Coils*. IEEE Underwater Technology.

Hong, Jia-Sheng, and M.J. Lancaster, 2001. *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. John Wiley & Sons: Mississauga, Canada.

Kiani, Mehdi, Uei-Ming Jow, and Maysam Ghovanloo, 2011. Design and optimization of a 3-coil inductive link for efficient wireless power transmission. *IEEE transactions on biomedical circuits and systems*, 5, 579-591.

Kindl, Vladimir, Michal Frivaldsky, Martin Zavrel, and Miroslav Pavelek, 2020. Generalized Design Approach on Industrial Wireless Chargers. *Energies*, 13, 2697.

Masrur, M., and Michael Cox, 2019. A Unique Military Application of Wireless Power Transfer: Wireless Charging Through a Vehicle Seat With Simplified Design Considerations. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 13, 19-30.

Tang, Sai Chun, Tian Le Tim Lun, Ziyang Guo, Ka-Wai Kwok, and Nathan J. McDannold, 2016. Intermediate range wireless power transfer with segmented coil transmitters for implantable heart pumps. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32, 3844-3857.

Tesla, N., 1891. Experiments with Alternate Currents of Very High Frequency and their Application to Methods of Artificial Illumination. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, VIII, 266-319.

Wu, H., H. Tian, G. Nie, and P. Zhao, 2020. Wireless Powered Mobile Edge Computing for Industrial Internet of Things Systems. *IEEE Access*, 8, 101539-49.

Zhang, Hao, Si-Ping Gao, Tung Ngo, Wen Wu, and Yong-Xin Guo, 2019. Wireless Power Transfer Antenna Alignment Using Intermodulation for Two-Tone Powered Implantable Medical Devices. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 67, 1708-16.

ABSTRACT

Application of wireless power transfer technology for underground mining equipment

Bui Huu Nguyen^{1,2*}, Nguyen Manh Hung¹, Tong Ba Tuan¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Kyung Hee University, Korea

In the field of oil, gas, and underground mining where has stringent requirements of the health, fire safety, and the environment because it has severe consequences when having an accident. The primary cause of the chamber blast is the leakage of electricity appearing on the switch points in the lamp and mining equipment, giving rise to sparks causing the gas explosion in the pipes and tunnels.

In this work, we investigate a new wireless power transfer (WPT) technology applied in the process of mining and producing mineral to improve the fire safety condition of electricity transmission and electricity distribution. The WPT technology operates inspired by the magnetic or electric resonance of the antenna coils without contact points such as switch and circuit breaker. By using a resonant frequency of 13.5 MHz and four coils system, we can obtain an efficiency of 92 % at 22 cm distance.

Keywords: Magnetic resonance; wireless power transfer; WPT.