

NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN KẾT HỢP SẠC DÒNG KHÔNG ĐỔI KẾT HỢP ĐIỀU KHIỂN BẮM TRỞ KHÁNG TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG SẠC KHÔNG DÂY CHO Ô TÔ ĐIỆN

STUDY ON STRUCTURE OF CONSTANT CURRENT CHARGING CONTROL COMBINED OPTIMIZED IMPEDANCE CONTROL FOR WIRELESS CHARGING SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLE

Phạm Tiến Đạt¹, Bùi Đức Hiếu¹,
Nguyễn Thị Điệp², Nguyễn Kiên Trung^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.052>

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đề xuất một cấu trúc điều khiển kết hợp giữa điều khiển ổn định dòng sạc và điều khiển bám giá trị trở kháng tối ưu nhằm nâng cao hiệu suất sạc trong hệ thống sạc không dây cho xe điện. Trong đó, một thuật toán được đưa ra có vai trò làm khâu quyết định giá trị dòng điện sạc đặt cho cấu trúc điều khiển này. Hiệu quả của cấu trúc đề xuất được kiểm chứng bằng mô phỏng trên phần mềm PSIM. Dòng điện sạc được điều khiển ổn định với thời gian đáp ứng dưới 0,01 giây, sai lệch tĩnh không vượt quá 0,2%, hiệu suất truyền của hệ thống được cải thiện và lên tới 92,7%.

Từ khóa: Xe điện, sạc không dây động, điều khiển dòng điện sạc, điều khiển bám trở kháng tối ưu.

ABSTRACT

This study proposes a control structure combining charge current stability control and optimal impedance tracking control to improve charging efficiency. In which, an algorithm is given that plays the role of deciding the charging current value for this control structure. The effectiveness of the proposed structure is verified by simulation on PSIM. The charging current is controlled stably with a response time of fewer than 0.01 seconds, the error does not exceed 0.2%, and the system efficiency is improved up to 92.7%.

Keywords: Electric vehicle, dynamic wireless charging, charge current control, optimum impedance tracking control

¹Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách Khoa Hà Nội

²Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện Lực

*Email: trung.nguyenkien1@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 24/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 02/02/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/3/2023

1. GIỚI THIỆU

Xuất phát từ vấn đề bảo vệ môi trường cũng như bảo vệ nguồn nhiên liệu hóa thạch dần trở nên khan hiếm, xe điện đang trở thành xu hướng cho hiện tại và tương lai bởi sự thân thiện với môi trường và các ưu điểm từ chính sách đi kèm. Đi cùng với sự phát triển đó là sự phát triển của công

nghệ sạc không dây cho ô tô điện và nổi bật hơn cả là công nghệ sạc không dây động - công nghệ sạc khi xe đang di chuyển [1-3]. Cho đến nay đã có rất nhiều nghiên cứu để giải quyết các vấn đề liên quan tới công nghệ này, các vấn đề chủ yếu xoay quanh các đại lượng trong quá trình sạc như công suất sạc, hiệu suất sạc, dòng sạc,... Một trong những vấn đề được giới nghiên cứu cũng như các chuyên gia công nghệ về xe điện đã và đang quan tâm chính là việc điều khiển ổn định dòng điện sạc cho xe đồng thời nâng cao được hiệu suất truyền cho công nghệ sạc không dây cho ô tô điện. Do tính phức tạp của hệ thống sạc không dây động, việc thực hiện triển khai các bộ điều khiển đạt đồng thời cả hai mục tiêu trên hệ thống gặp nhiều khó khăn. Một số nghiên cứu đã cố gắng đạt được một trong hai tiêu chí trên. Trong đó, các nghiên cứu [4-7] tập trung vào việc nâng cao hiệu suất sạc của hệ thống sạc không dây động bằng phương pháp điều khiển bám trở kháng tối ưu sử dụng bộ chỉnh lưu tích cực. Trong khi đó, cấu trúc điều khiển trong nghiên cứu [8] áp dụng thuật toán chọn lọc các giá trị góc dịch pha thích hợp thỏa mãn được yêu cầu điều khiển đồng thời hai mục tiêu. Tuy nhiên, các cấu trúc này được xây dựng theo sách lược điều khiển truyền thẳng (feedforward), dẫn tới các dòng điện điều khiển tồn tại sai lệch tĩnh, ảnh hưởng tới việc điều khiển nâng cao hiệu suất. Nghiên cứu [9] tiếp cận bài toán theo hướng vào động học hệ thống khi đưa ra hướng giải quyết dựa vào mô hình không gian trạng thái của hệ thống sạc. Hướng triển khai này cho hiệu quả tốt về mặt mô phỏng nhưng việc triển khai thực tế lại trở nên kém khả thi do phải xử lý các ma trận biến trạng thái lớn và đòi hỏi phải có sự truyền thông tin qua lại giữa phía sơ cấp và thứ cấp.

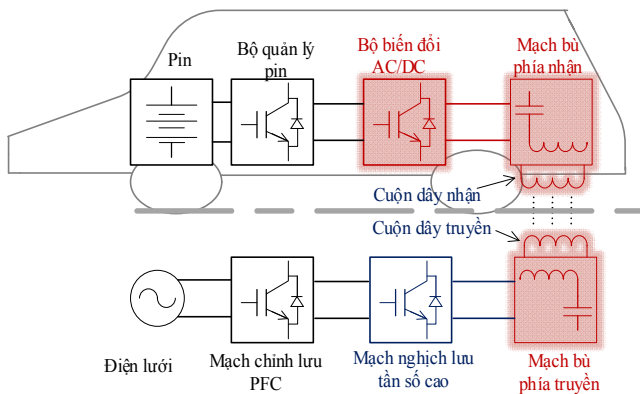
Từ việc phân tích, xem xét tới các nghiên cứu có liên quan đến vấn đề đã đề cập. Nghiên cứu này đề xuất một cấu trúc điều khiển kết hợp cả hai đại lượng là dòng sạc và hiệu suất bằng cách điều khiển chỉ một bộ chỉnh lưu tích cực phía thứ cấp để điều khiển tối ưu hiệu suất kết hợp với ổn định dòng sạc. Cấu trúc điều khiển này sử dụng sách lược điều khiển phản hồi để bám chính xác dòng điện đầu

ra, tối thiểu sai lệch tĩnh. Thuật toán xử lý được cài đặt trong cấu trúc điều khiển sẽ đưa ra tín hiệu dòng sạc đặt sao cho khi hệ thống bám dòng sạc đặt đó thì cả hai yêu cầu điều khiển đều được thỏa mãn. Phần 2 của nghiên cứu tập trung phân tích hệ thống sạc không dây động và đưa ra các phương trình cơ bản làm cơ sở cho cấu trúc điều khiển để xuất trong nghiên cứu. Nội dung lý thuyết của cấu trúc điều khiển dòng sạc kết hợp bám trở kháng tối ưu được trình bày ở phần 3. Kích bản mô phỏng cũng như kết quả mô phỏng được đưa ra và bàn luận ở phần 4. Cuối cùng là tổng hợp các kết quả đạt được trong nghiên cứu và kết luận ở phần 5.

2. PHÂN TÍCH HỆ THỐNG SẠC KHÔNG DÂY ĐỘNG

2.1. Giới thiệu hệ thống sạc không dây động

Hệ thống sạc không dây nói chung có nguyên lý hoạt động tương tự như một máy biến áp. Điểm khác biệt duy nhất giữa công nghệ truyền điện không dây và truyền năng lượng qua biến áp nằm ở việc công nghệ truyền năng lượng không dây tận dụng hiện tượng cộng hưởng từ để triệt tiêu từ trường rò rỉ ra ngoài không khí, nâng cao hiệu suất truyền [10, 11].

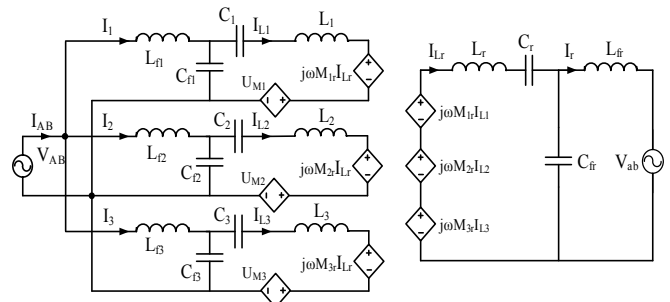


Hình 1. Cấu trúc tổng quan hệ thống sạc không dây động cho ô tô điện

Cấu trúc tổng quan của một hệ thống sạc không dây động cho ô tô điện được thể hiện ở hình 1. Cụ thể, nguồn điện xoay chiều từ lưới được đưa qua mạch chỉnh lưu PFC tạo ra điện áp một chiều và tối ưu hệ số công suất của toàn hệ thống sạc. Mạch nghịch lưu tần số cao mắc phía sau có chức năng tạo ra dòng điện xoay chiều tần số cao đưa vào mạch bù LCC và cuộn dây phía truyền. Nhờ làm việc ở tần số cao mà các phần tử trong mạch giảm được kích thước. Qua mạch bù cộng hưởng, các thành phần sóng hài bậc cao bị loại bỏ, chỉ còn thành phần sóng hài bậc nhất (sóng sin) chạy trên cuộn dây truyền, tạo ra một từ trường biến thiên xung quanh nó. Khi cuộn dây nhận được đặt trong từ trường này, một dòng điện biến thiên với cùng tần số xuất hiện, chạy qua mạch bù phía nhận và đến bộ chỉnh lưu tích cực. Bộ chỉnh lưu tích cực đóng vai trò là cơ cấu chấp hành cho các thuật toán tối ưu hiệu suất truyền và chuyển đổi dòng xoay chiều sang dòng một chiều lần điều khiển sạc. Dòng điện một chiều sau đó được đưa đến bộ quản lý năng lượng trên xe để sạc cho pin và nuôi động cơ cùng với các thiết bị khác của xe.

2.2. Ước lượng hệ số kết nối và đặc tính hiệu suất hệ thống

Cấu trúc mạch lực được sử dụng trong nghiên cứu gồm ba cuộn truyền một cuộn nhận. Hình 2 mô tả sơ đồ mạch điện tương đương của hệ thống với tần số làm việc cơ bản là 85kHz. Các quan hệ hồ cảm giữa 4 cuộn dây được mô tả bằng các nguồn áp phụ thuộc dòng điện.



Hình 2. Sơ đồ mạch điện tương đương của hệ thống

Xét mạch điện tại trạng thái xác lập, hai phương trình ước lượng hệ số hồ cảm M và giá trị tải tối ưu của hệ thống được xác định từ việc phân tích mạch điện tuyến tính theo nguyên lý xếp chồng. Từ nhu cầu ước lượng hệ số hồ cảm mà không cần đo và truyền thông giữa hai phía sơ cấp và thứ cấp, biểu thức ước lượng hệ số hồ cảm được đưa về một hàm số là mối quan hệ giữa các đại lượng có thể đo được ở phía thứ cấp (phía nhận) và thông số hệ thống và được biểu diễn qua phương trình (1).

$$k_r = \frac{\omega^2 C_{fr}^2 U_{ab} R_r + I_{Lfr}}{\omega^3 C_{fr} C_{fi} U} \tag{1}$$

Đối với phương trình xác định giá trị tải tối ưu, sơ đồ mạch điện tương đương được thêm vào các các tổn hao trên các phần tử mạch, tổn hao trên mạch được xét đến ở đây chỉ là tổn hao trên nội trở của các cuộn dây truyền nhận tương ứng là r_1, r_2, r_3, r_r . Khi hiệu suất mạch điện cao nhất (h_{max}), trở kháng tối ưu Z_{eq_opt} được xác định qua phương trình (2).

$$h_{max} \Leftrightarrow Z_{eq} = Z_{eq_opt} = \frac{\omega^2 L_{fr}^2}{r_r} \sqrt{\frac{3}{3 + \frac{\omega^2 M^2}{r_1 r_r}}} \tag{2}$$

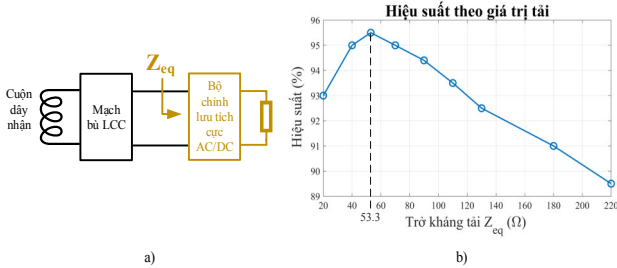
Việc phân tích mô hình mạch điện của hệ thống sạc động từ đó đưa ra hai phương trình trên góp phần xây dựng nền móng cho cấu trúc điều khiển để xuất được phân tích ở mục 3.

3. CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN SẠC DÒNG KHÔNG ĐỐI KẾT HỢP ĐIỀU KHIỂN BẮM TRỞ KHÁNG TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG SẠC ĐỘNG

3.1. Cơ sở điều khiển bám trở kháng tối ưu

Trở kháng tải Z_{eq} được định nghĩa là trở kháng vào của bộ biến đổi AC/DC và giá trị trở kháng tương đương của R_L của pin như trên hình 3a. Trong quá trình sạc, chế độ làm việc của bộ sạc pin thay đổi nên trở kháng tương đương R_L của pin thay đổi, từ đó dẫn tới trở kháng tải cũng thay đổi. Hình 3b mô tả sự thay đổi của hiệu suất truyền năng lượng khi trở kháng tải thay đổi và cho thấy nó chỉ đạt tối đa tại

một giá trị trở kháng tải nhất định (đối với hệ thống sạc đang được nghiên cứu thì $Z_{eq} = 53\Omega$) và giảm khi trở kháng tải ra xa giá trị này. Điều này có nghĩa là hiệu suất truyền năng lượng sẽ nằm ở sườn xuống trong phần lớn quá trình hoạt động. Do đó, để hiệu suất hệ thống đạt giá trị tối ưu, cần điều khiển trở kháng tải bám với giá trị trở kháng tối ưu.



Hình 3. Định nghĩa trở kháng tải Z_{eq} a) đồ thị biểu diễn quan hệ giữa trở kháng tải Z_{eq} và hiệu suất hệ thống b)

Tuy nhiên, trở kháng tải không thể điều khiển được trực tiếp do nó là một đại lượng không điện. Từ phương trình (3) kết hợp với việc giá trị hiệu dụng của dòng đầu vào mạch AC/DC I_{Lfr} được coi là không đổi [4, 5], trở kháng tải sẽ được điều khiển thông qua một đại lượng điện chính là điện áp hai đầu mạch AC/DC U_{ab} .

$$Z_{eq} = \frac{U_{ab}}{I_{Lfr}} \tag{3}$$

Trong đó, U_{ab} và I_{Lfr} lần lượt là điện áp hiệu dụng và dòng điện hiệu dụng ở đầu vào bộ biến đổi AC/DC.

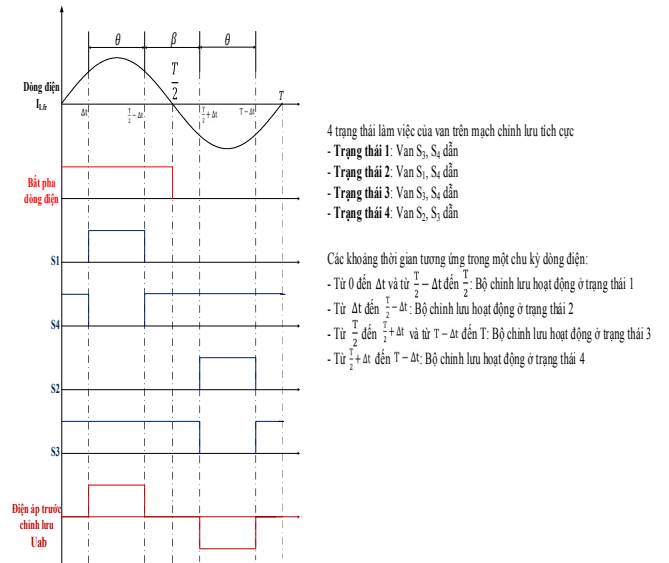
Bộ biến đổi AC/DC phía thứ cấp được xét tới trong nghiên cứu là bộ chỉnh lưu tích cực. Với cấu hình mạch chỉnh lưu tích cực, khi áp dụng phép điều chế dịch pha, điện áp U_{ab} sẽ được điều khiển bằng cách đóng cắt các van bán dẫn sao cho độ rộng xung của giá trị điện áp U_{ab} được định nghĩa thông qua góc dịch pha β như minh họa ở hình 4. Hơn nữa, do công suất sạc pin là công suất có ích, do đó dòng điện và điện áp đầu vào của mạch chỉnh lưu tích cực phải được điều khiển để đồng pha với nhau, nghĩa là động rộng xung điện áp U_{ab} được điều khiển theo chu kỳ dòng điện I_{Lfr} . Hình 4 chỉ ra có 4 trạng thái hoạt động của van được điều khiển trong 6 khoảng thời gian tương ứng 1 chu kỳ dòng điện I_{Lfr} .

Sau khi phân tích nguyên lý làm việc của mạch chỉnh lưu tích cực trên hình 4, trở kháng tải Z_{eq} có thể được điều khiển bằng cách thay đổi góc dịch pha β . Mối liên hệ giữa góc dịch pha β và trở kháng tương đương Z_{eq} , dòng điện I_{Lfr} hay điện áp U_{ab} được thể hiện qua các phương trình:

$$Z_{eq} = \frac{8}{\pi^2} \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) R_L \tag{4}$$

$$U_{ab} = \frac{8}{\pi^2} \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) R_L I_{Lfr} \tag{5}$$

$$I_L = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot I_{Lfr} \tag{6}$$



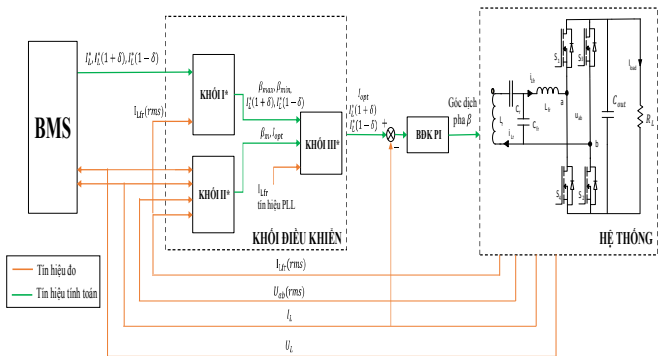
Hình 4. Lược đồ hoạt động của quá trình điều chế dịch pha theo góc dịch pha β

3.2. Cơ sở điều khiển sạc dòng không đổi

Đối với ứng dụng sạc động cho ô tô điện, trạng thái sạc của pin chạy trên đường rất thích hợp để thực hiện phương pháp sạc dòng không đổi (từ 0 - 80% SOC). Do vậy bên cạnh nhiệm vụ điều khiển bám trở kháng tối ưu thì dòng sạc cho pin cũng cần được xem xét điều khiển, hay là điều khiển dòng ra tải của hệ thống (tải R_L với dòng sạc I_L ở hình 4). Từ phương trình (6) với điều kiện đã biết là giá trị hiệu dụng của dòng điện I_{Lfr} không đổi, giá trị dòng điện sạc có thể được điều khiển bằng cách điều chỉnh góc dịch pha β .

Dựa vào các phân tích từ phần trước, giá trị dòng điện sạc I_L và trở kháng tải Z_{eq} có thể được điều khiển dựa vào góc dịch pha β . Từ đó, để điều khiển đáp ứng được cả hai mục tiêu, cấu trúc điều khiển sạc dòng không đổi kết hợp bám trở kháng tối ưu được đề xuất.

3.3. Cấu trúc điều khiển sạc dòng không đổi kết hợp điều khiển bám trở kháng tối ưu cho hệ thống sạc động



Hình 5. Cấu trúc điều khiển ổn dòng kết hợp bám trở kháng tối ưu

Cấu trúc điều khiển đề xuất sử dụng sách lược điều khiển phản hồi đầu ra được mô tả qua hình 5. Trong đó, hướng tiếp cận điều khiển trong nghiên cứu là tập trung điều khiển ở phía thứ cấp nhằm tránh việc phải thực hiện trao đổi thông tin với bên sơ cấp. Bài toán điều khiển mạch

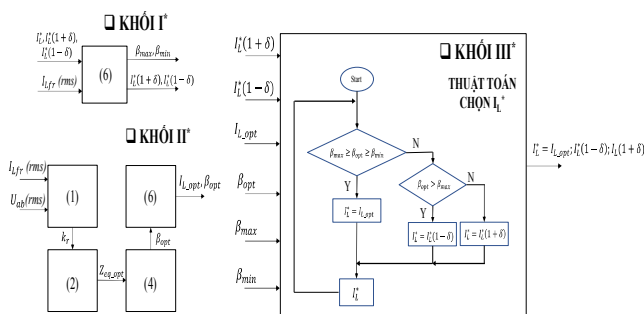
chỉnh lưu tích cực phía thứ cấp được thiết lập với hai mục tiêu điều khiển ứng với hai biến cần điều khiển là dòng sạc I_L và điện áp hai đầu mạch chỉnh lưu tích cực U_{ab} (điều khiển bám trở kháng tối ưu); biến điều khiển ở đây là góc dịch pha β .

Trong cấu trúc này, bộ quản lý năng lượng sạc cho pin (BMS) có nhiệm vụ khảo sát trạng thái của hệ thống thông qua các đại lượng dòng điện và điện áp đo ngược trở lại từ pin để từ đó quyết định chế độ sạc phù hợp cho pin. Cấu trúc điều khiển sẽ phản hồi dòng sạc đầu ra từ hệ thống để so sánh với dòng sạc được đặt, dòng sạc đặt được quyết định bởi một thuật toán được minh họa bằng các khối trong khối điều khiển sao cho khi hệ thống bám theo giá trị dòng sạc này thì hiệu suất sẽ là tốt nhất. Gọi $G_{\beta I}$ là hàm truyền thể hiện mối quan hệ giữa góc dịch pha β và dòng sạc I_L được biểu diễn qua phương trình (7).

$$G_{\beta I} = \frac{1,05 * 10^{10}s + 6,922 * 10^{14}}{s^3 + 6,945 * 10^5s^2 + 1,948 * 10^{11}s + 1,242 * 10^{16}} \quad (7)$$

Từ việc phân tích đồ thị đặc tính Bode biên và pha thông qua hàm truyền của đối tượng, bộ điều khiển PI được thêm vào nhằm tăng đáp ứng dòng điện sạc và ổn định hệ thống. Phương trình hàm truyền của bộ điều khiển PI được biểu diễn qua phương trình (8).

$$G_c = -200 - \frac{60118,4115}{s} \quad (8)$$



Hình 6. Cấu trúc mạch thuật toán trong khối điều khiển

Khối điều khiển từ cấu trúc điều khiển được phát triển dựa trên ý tưởng đặt ngưỡng trên và ngưỡng dưới cho dòng sạc I_L . Hay có nghĩa là giả sử đầu ra của bộ BMS là giá trị đặt một ngưỡng xung quanh giá trị I_L với độ dao động là $\pm \delta$ ($I_L \in [I_L(1 - \delta); I_L(1 + \delta)]$), độ dao động δ được xác định phụ thuộc vào người lập trình dựa trên cấp dòng sạc mà hệ thống đang muốn cấp ra để sạc cho pin. Trong nghiên cứu này, giá trị δ được đặt là $\pm 5\%$ dựa trên dòng sạc đặt là 5A. Nếu dòng điện sạc I_L được đảm bảo nằm trong ngưỡng này, chế độ sạc dòng không đổi vẫn được công nhận. Bản chất của việc giả sử nằm ở mối quan hệ giữa dòng điện sạc I_L và trở kháng tải tương đương Z_{eq} dựa vào phương trình (4) và (6). Và từ hai phương trình trên, thay vì cố định dòng sạc đặt I_L , việc điều chỉnh I_L quanh ngưỡng có thể giúp điều khiển giá trị trở kháng tải Z_{eq} . Khi đó trở kháng tải Z_{eq} có thể tiến gần hơn giá trị trở kháng $Z_{eq, opt}$ dẫn đến hiệu suất sạc của hệ thống được nâng cao

mà không vượt ra ngoài ngưỡng dòng sạc. Bên cạnh đó cấu trúc phản hồi góp phần giảm thiểu sai lệch tính khi điều khiển dòng điện góp phần làm giảm sai số khi điều khiển gián tiếp đến trở kháng tải. Mạch trình bày của thuật toán được trình bày dưới dạng các khối con trong khối điều khiển và được thể hiện ở hình 6.

4. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Mô hình hệ thống sạc động được mô phỏng bằng phần mềm PSIM. Các tham số từ các phần tử của hệ thống được tính toán dựa trên nghiên cứu [4] và được biểu diễn theo bảng 1.

Bảng 1. Giá trị tham số thiết kế của hệ thống

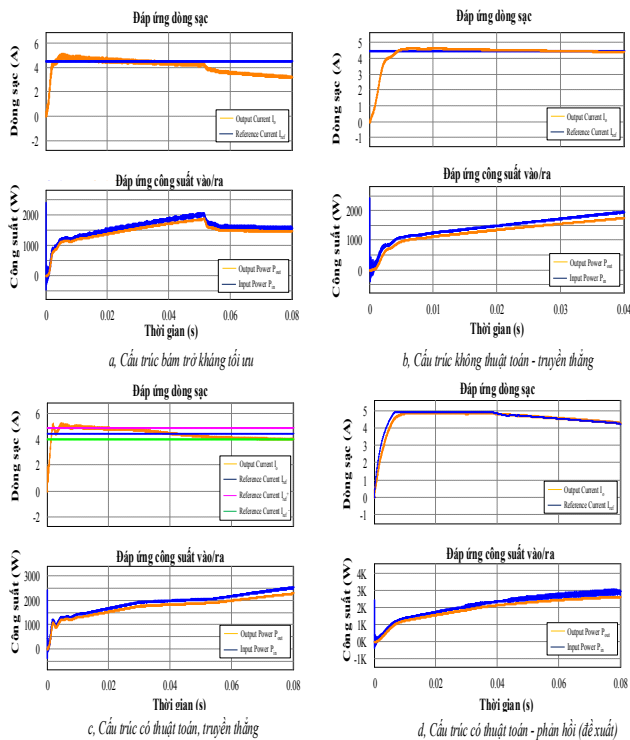
Thông số	Giá trị thiết kế	Thông số	Giá trị thiết kế
U_{AB}	310 V	f_{sw}	85 kHz
L_{fi}	50,1 μ H	L_{fr}	29,2 μ H
C_{fi}	0,07 μ F	C_{fr}	0,12 μ F
L_r	103 μ H	L_r	120 μ H
C_1	0,1 μ F	C_r	0,04 μ F
C_2	0,12 μ F	k_r	0,14
C_3	0,1 μ F	U_{ab}	280V

Theo đó, một số giả thiết để thực hiện mô phỏng được đề xuất như giả sử xe chạy trên làn đường với khoảng cách giữa gầm xe và mặt đường là 15cm. Làn sạc được mô phỏng chia thành các đoạn nhỏ, mỗi đoạn có chiều dài là 400mm và có tổng chiều dài là 3600mm. Giả thiết xe di chuyển với vận tốc 70km/h và không bị lệch làn sạc trong quá trình di chuyển.

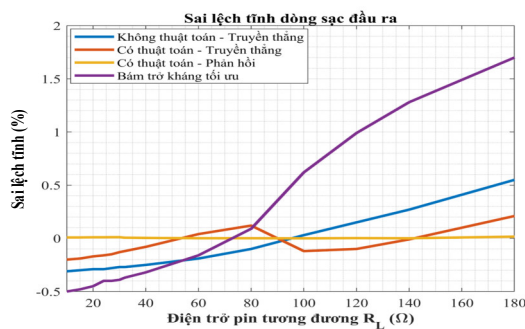
Mục tiêu mô phỏng tập trung vào việc phân tích và so sánh độ hiệu quả của phương pháp đề xuất về mặt hiệu suất hệ thống và sai lệch tính khi điều khiển dòng so với một số cấu trúc điều khiển khác.

Các cấu trúc sẽ mô phỏng dưới điều kiện có nhiều tác động là tải pin thay đổi, tải R_L thay đổi tuyến tính theo thời gian từ $40\Omega \rightarrow 140\Omega$ (mô phỏng cho trường hợp SOC của pin tăng trong quá trình sạc khi điện áp hở mạch của pin tăng), các kết quả về đáp ứng dòng điện sạc và công suất sạc được tiến hành thu thập từ mô phỏng và được trình bày trên hình 7. Kết quả cho thấy cả bốn cấu trúc cũng đều trải qua quá trình quá độ và đạt trạng thái xác lập trong khoảng thời gian dưới 0,02 giây. Và cũng chỉ có cấu trúc đề xuất (Có thuật toán - phản hồi) cho đồ thị đáp ứng dòng điện tốt nhất với độ đập mạch dòng điện và sai lệch tính thấp nhất. Tuy nhiên công suất đầu vào bị đập mạch ở một số giá trị tải, điều này xảy ra do hệ thống phải cố gắng giữ cho dòng điện sạc đầu ra luôn bám giá trị đặt cũng như giảm độ đập mạch dòng nên công suất đầu vào phải thay đổi để điều khiển hệ thống đáp ứng. Các cấu trúc còn lại thể hiện rõ điểm yếu trong khả năng điều khiển cả hai mục tiêu do bản chất điều khiển đơn biến của các cấu trúc đó. Hiệu suất của hệ thống đạt giá trị cao nhất ở 92,7%, dải hiệu suất dao động từ 89,7% đến 92,7% trong khoảng giá trị tải từ 40Ω đến 140Ω .

Từ các phân tích trên, cấu trúc điều khiển được đề xuất trong nghiên cứu chứng minh được ưu thế của nó so với các cấu trúc khác trong quá trình mô phỏng một trường hợp thực tiễn.



Hình 7. Đáp ứng dòng sạc và công suất của hệ thống trong trường hợp tải thay đổi



Hình 8. Sai lệch tính của dòng điện giữa các cấu trúc điều khiển

Đồ thị biểu diễn trong hình 8 so sánh độ sai lệch tính dòng điện trong từng cấu trúc điều khiển. Với cấu trúc đề xuất (Có thuật toán - phản hồi), giá trị sai lệch tính thu được là ổn định và tốt nhất trong cả ba trường hợp còn lại khi có độ sai lệch tính rất thấp, dao động quanh mức 0,1% và 0,2%. Từ đồ thị so sánh độ sai lệch tính giữa cả 4 cấu trúc, cấu trúc đề xuất đã chứng minh được ưu thế vượt trội trong khả năng điều khiển ổn định dòng sạc so với ba cấu trúc còn lại.

5. KẾT LUẬN

Dựa trên cơ sở về những vấn đề còn tồn tại trong hướng nghiên cứu điều khiển cho hệ thống sạc động cho ô tô điện, nghiên cứu này đã đề xuất được một cấu trúc điều khiển kết hợp hai yêu cầu điều khiển là điều khiển dòng sạc không đổi

và điều khiển bám trở kháng tối ưu. Trong cấu trúc điều khiển này, dòng sạc cho pin được tạo ngưỡng và bộ điều khiển điều khiển hệ thống bám theo giá trị dòng sạc được quyết định bởi thuật toán cài đặt được coi là phù hợp nhất cho hệ thống với hai yêu cầu điều khiển trên. Kết quả mô phỏng trên phần mềm PSIM đã chỉ ra được tính khả thi của cấu trúc điều khiển đề xuất. Dòng điện sạc bám với dòng điện đặt với đáp ứng dưới 0,01 giây và sai lệch tính nằm trong khoảng từ 0,1% đến 0,2%. Hiệu suất của hệ thống đạt giá trị cao nhất ở 92,7%, dải hiệu suất dao động từ 89,7% đến 92,7% trong khoảng giá trị tải từ 40Ω đến 140Ω.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. <https://vnautomate.net/gioi-thieu-cong-nghe-truyen-dien-khong-day-va-ung-dung-sac-khong-day-cho-o-to-dien.html>
- [2]. D. Patil, M. K. McDonough, J. M. Miller, B. Fahimi, P. T. Balsara, 2017. *Wireless Power Transfer for Vehicular Applications: Overview and Challenges*. IEEE Trans. Transp. Electrifi., vol. 4, no. 1, pp. 3–37, doi: 10.1109/TTE.2017.2780627.
- [3]. C. T. Rim, C. Mi, 2017. *Introduction to Wireless Power Transfer (WPT)*. In book: *Wireless Power Transfer for Electric Vehicles and Mobile Devices* (pp.19-42).
- [4]. Nguyen Thi Diep, 2020. *Research on wireless power transfer system application in wireless active charging for electric vehicles*. PhD thesis, Hanoi University of Science and Technology.
- [5]. N. T. An, L. V. Hiếu. *Controlling the performance of the wireless dynamic charging system for electric cars*. Hanoi University of Science and Technology.
- [6]. N. X. Khai, L. Cong, N. Anh, N. T. Diệp, N. K. Trung, 2021. *Output DC Voltage Stabilizer and Efficiency Improvement in Wireless Power Transfer Systems*. Measurement, Control, and Automation, 2(1).
- [7]. Z. Ye, P. K. Jain, P. C. Sen, 2007. *A full-bridge resonant inverter with modified phase-shift modulation for high-frequency AC power distribution systems*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 5, pp. 2831–2845, doi: 10.1109/TIE.2007.896030.
- [8]. M. Zhang, L. Tan, J. Li, X. Huang, 2020. *The Charging Control and Efficiency Optimization Strategy for WPT System Based on Secondary Side Controllable Rectifier*. IEEE Access, vol. 8, pp. 127993–128004, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3007444.
- [9]. M. Wu, et al., 2021. *A Dual-Sided Control Strategy Based on Mode Switching for Efficiency Optimization in Wireless Power Transfer System*. IEEE Transactions on Power Electronics vol. 36, no. 8, pp. 8835–8848.
- [10]. Q. Zhu, L. Wang, Y. Guo, C. Liao, F. Li, 2016. *Applying LCC Compensation Network to Dynamic Wireless EV Charging System*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 10, pp. 6557–6567, doi: 10.1109/TIE.2016.2529561.
- [11]. M. Kim, D. M. Joo, B. K. Lee, 2019. *Design and Control of Inductive Power Transfer System for Electric Vehicles Considering Wide Variation of Output Voltage and Coupling Coefficient*. IEEE Trans. Power Electron., vol. 34, no. 2, pp. 1197–1208, doi: 10.1109/TPEL.2018.2835161.
- [12]. N. T. Diep, N. K. Trung, T. T. Minh, 2020. *Wireless power transfer system design for electric vehicle dynamic charging application*. Int. J. Power Electron. Drive Syst., vol. 11, no. 3, pp. 1468–1480, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i3.pp1468-1480.

AUTHORS INFORMATION

Pham Tien Dat¹, Bui Duc Hieu¹, Nguyen Thi Diep², Nguyen Kien Trung¹

¹School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology

²Faculty of Control and Automation, Electric Power University