

Thiết kế bộ biến đổi nguồn điện một chiều (DC-DC) hỗ trợ giảng dạy và nghiên cứu các bộ biến đổi điện năng

Ngô Thị Lê*

*ThS. Khoa Điện- Điện tử, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vinh

Received: 14/6/2024; Accepted: 20/6/2024; Published: 27/6/2024

Abstract: To meet the requirements of training practical engineers who can apply theory to practice, many technical problems are included in the training program. Nowadays, DC (direct current) power converters are widely used for electric vehicles, so it is necessary to include them in teaching. This article proposes and presents the steps to design a DC-DC converter for electric vehicles to support lecturers and students in teaching and researching power converters.

Keywords: Design, DC-DC converter, electric vehicles.

1. Đặt vấn đề

Toàn cầu hóa và cách mạng công nghiệp 4.0 buộc các doanh nghiệp phải yêu cầu nguồn nhân lực ngày càng cao để nâng cao năng lực cạnh tranh. Sự phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật khiến cho quá trình đào tạo ở các trường đại học gặp nhiều khó khăn vì nội dung kiến thức khó theo kịp. Do đó, các trường đại học kỹ thuật phải không ngừng đổi mới chương trình để thích ứng với sự phát triển của công nghệ. Chương trình đào tạo phải xây dựng theo hướng hệ thống lý thuyết cung cấp nền tảng kiến thức cơ bản để giải quyết bài toán thực tế. Giảng viên được khuyến khích cập nhật các bài toán công nghệ trong quá trình dạy học.

Ngày nay, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp xe điện (ô tô điện, xe máy điện, xe đạp điện...) là sự phát triển không thể thiếu của hệ thống trạm sạc. Trạm sạc là yếu tố then chốt trong việc phổ biến xe điện và cạnh tranh với nguồn năng lượng hóa thạch của xe xăng dầu truyền thống. Nguồn điện hiện nay luôn có các yêu cầu kỹ thuật đi kèm như: độ tin cậy, độ ổn định, kích thước nhỏ gọn và đặc biệt là hiệu suất cao và mật độ công suất lớn. Do đó các bộ biến đổi nguồn điện một chiều DC-DC (DC- Direct current- điện một chiều) đang tiếp tục được nghiên cứu và cải tiến. Từ định hướng giảng dạy kỹ thuật ở trường đại học là xây dựng nội dung bài học theo hướng đáp ứng bài toán thực tế. Bộ biến đổi nguồn điện một chiều DC-DC được đưa vào giảng dạy do các ứng dụng rộng rãi. Trong các cấu trúc, bộ cộng hưởng LLC (gồm 2 cuộn cảm L và tụ điện C nối tiếp) giảm bớt được độ đập mạch của dòng điện đầu ra, hoạt động ổn định ở tần số cao và giảm tổn thất chuyển mạch nên trở thành cấu trúc phổ biến trong thiết kế bộ DC-DC. Có nhiều phần mềm để thiết kế, kiểm

chứng sự làm việc của các bộ DC-DC như Matlab, LTSPICE. Bài báo trình bày các bước thiết kế và tính toán thông số mạch của bộ LLC trên nền tảng Matlab, cung cấp tài liệu cho giảng dạy môn Kỹ thuật biến đổi sinh viên ngành Điện.

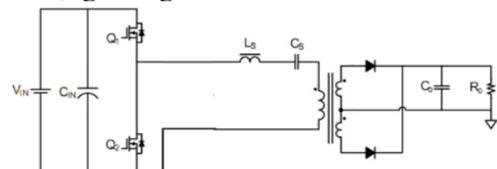
2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Lý thuyết về bộ nguồn cộng hưởng [3]

Bộ biến đổi cộng hưởng tạo nên từ các cuộn cảm L và tụ điện C nhằm mục đích tạo nên mạch vòng cộng hưởng trong bộ biến đổi để dòng điện trong thành phần cộng hưởng có dạng hình sin. Bộ biến đổi cộng hưởng có cấu trúc bao gồm thành phần cộng hưởng được tạo nên từ cuộn cảm L và tụ điện C. Các bộ biến đổi cộng hưởng gồm 3 phần chính: Sơ đồ van, mạch cộng hưởng, chỉnh lưu và tụ lọc DC.

a. Mạch cộng hưởng nối tiếp

Cấu trúc bộ biến đổi cộng hưởng nối tiếp (hình 2.1) gồm cuộn cảm L_s và tụ điện C_s mắc nối tiếp với nhau và nối tiếp với tải. Khi thay đổi tần số trong mạch cộng hưởng, trở kháng của mạch thay đổi. Tại tần số cộng hưởng $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}}$, trở kháng $Z = 0$, hệ số truyền điện áp là 1. Khi thay đổi tần số chuyển mạch độ lớn của $Z = j2\pi f L_s - j \frac{1}{2\pi f C_s}$, nó là một bộ chia áp. Nên mạch có hệ số truyền đạt lớn nhất tại tần số cộng hưởng.



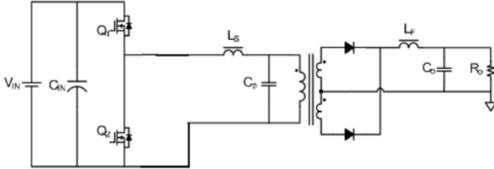
Hình 2.1. Sơ đồ mạch cộng hưởng nối tiếp

Mạch cộng hưởng nối tiếp SRC: Ưu điểm là dòng điện giảm khi tải giảm nên tổn hao dẫn trên van thấp

hơn, có thể duy trì hoạt động ở chế độ đầu ra ngắn mạch. Tuy nhiên khi mạch hoạt động non tải tần số đóng cắt phải tăng lên cao.

b. Mạch cộng hưởng song song

Đối với mạch cộng hưởng song song như hình 2.2, các khối cộng hưởng vẫn mắc nối tiếp. Nó được gọi là mạch cộng hưởng song song vì tải được mắc song song với tụ cộng hưởng C_s .

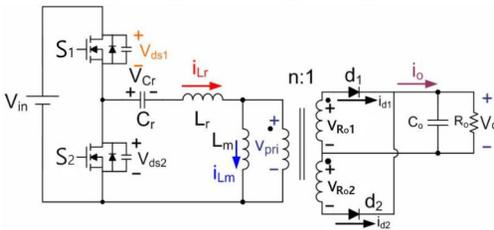


Hình 2.2. Sơ đồ mạch cộng hưởng song song

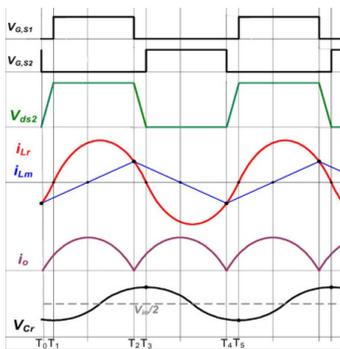
Mạch cộng hưởng song song có thể điều khiển điện áp đầu ra khi không tải bằng cách cho mạch hoạt động ở trên tần số cộng hưởng. Hệ số truyền đạt điện áp tại tần số cộng hưởng phụ thuộc vào tải và có thể tăng lên rất cao khi không tải. Nhược điểm chính của cấu trúc này là dòng điện phía sơ cấp không phụ thuộc vào tải nên khi hoạt động non tải hiệu suất sẽ giảm.

2.2. Phân tích bộ biến đổi LLC [1,2,4]

Bộ cộng hưởng LLC có đặc điểm như sóng mịn, hiệu suất cao, mật độ công suất lớn... Gần đây, bộ biến đổi cộng hưởng cùng với thành phần nghịch lưu nửa cầu được áp dụng rộng rãi vào nguồn ATX, máy tính công nghiệp... Cấu trúc của bộ biến đổi LLC vẫn là cấu trúc cộng hưởng LC nối tiếp nhưng có thêm thành phần L_m trong khối cộng hưởng.



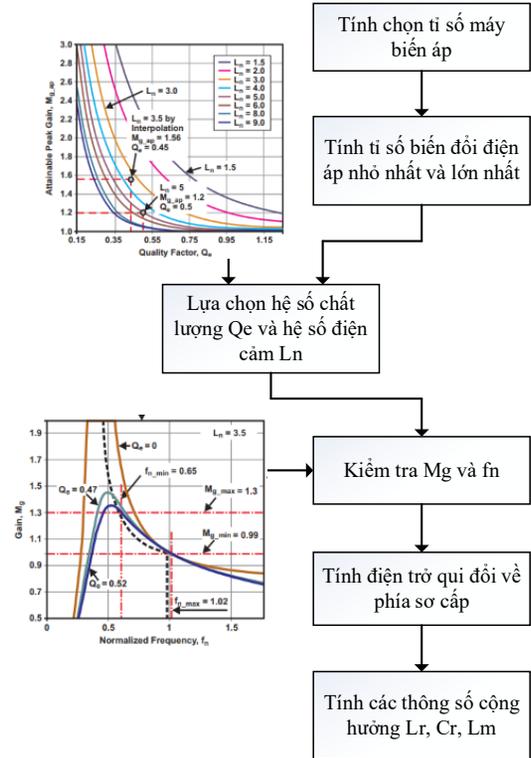
Hình 2.3. Cấu trúc bộ biến đổi LLC một pha.



Hình 2.4. Dòng điện qua mạch cộng hưởng LLC.

- Nguyên lý làm việc: Bộ biến đổi LLC điều khiển bằng cách thay đổi tần số phát xung, các van được phát xung 50% ngược nhau.

- Quá trình tính toán thông số mạch LLC được thực hiện trên phần mềm Matlab theo sơ đồ thuật toán trên hình 2.5.



Hình 2.5. Lưu đồ thuật toán tính LLC

- Trong khoảng thời gian $T_0 \div T_1$ van S_2 khóa. Dòng điện chạy qua mạch cộng hưởng âm. Dòng điện i_{Lr} tăng vì quá trình cộng hưởng L_r và C_r . Tại thời điểm này bên thứ cấp diode D_1 dẫn và dòng i_d bắt đầu tăng lên.

- Trong khoảng thời gian $T_1 \div T_2$ van S_1 dẫn, dòng i_{Lr} dương. Do cộng hưởng nên dòng i_{Lr} tăng lên và dòng qua L_m tăng.

- Trong khoảng thời gian $T_2 \div T_3$, ở T_2 hai dòng điện i_{Lr} và i_{Lm} bằng nhau, điện áp thứ cấp máy biến áp (MBA) nhỏ hơn điện áp đầu ra, do đó đầu ra bị tách ra khỏi MBA, nên dòng i_d bằng không. Khi i_{Lm} không bị kẹp bởi điện áp đầu ra, L_m tham gia vào quá trình cộng hưởng L_r, C_r .

- Trong khoảng thời gian $T_3 \div T_4$, van S_1 ngắt không hoạt động ở thời điểm T_3 . Dòng i_{Lr} chạy qua diode nội của van S_2 tạo điều kiện cho van S_2 , i_{Lr} bắt đầu giảm. Cùng thời điểm đó diode D_2 dẫn, và U_{Lm} bị chặn bởi điện áp đầu ra. Do đó dòng i_d bắt đầu tăng cho đến khi i_{Lr} âm ở thời điểm T_4 .

Trong khoảng thời gian $T_4 \div T_5$, van S_2 hoạt động, tại thời điểm này i_{Lr} âm và S_2 dẫn. Dòng điện i_{Lr} giảm. Tuy nhiên diode D_2 dẫn nên i_{Lm} bị chặn bởi điện áp đầu ra, tức i_m giảm tuyến tính. Giai đoạn này kết thúc khi i_{Lr} và i_{Lm} bằng nhau và dòng i_d giảm về không.

2.3. Thiết kế mạch DC-DC cộng hưởng LLC [2]

Bộ biến đổi LLC nửa cầu một pha có các thông số sau:

- Công suất $P=300W$
- Điện áp đầu vào $V_{in} = 375 \div 405V$
- Điện áp đầu ra $V_{out} = 24V$
- Dòng điện đầu ra $I_{out} = 25A$
- Tần số cộng hưởng $f_0 = 130kHz$

a. *Tính toán thông số mạch cộng hưởng*

Bước 1: Tính tỉ số vòng dây máy biến áp

$$n = \frac{V_{out}}{2V_{in}} = \frac{390}{2 \cdot 24} = 8,125 \text{ chọn } n=8$$

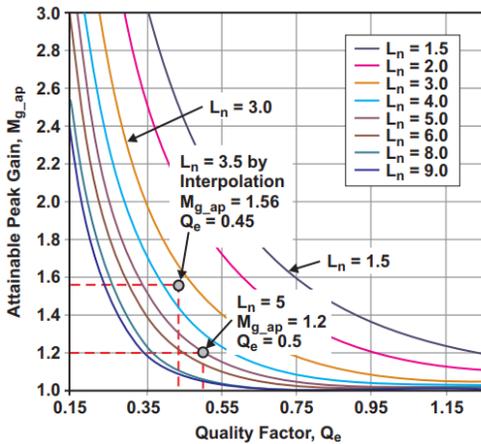
Bước 2: Tính tỉ số biến đổi điện áp nhỏ nhất và lớn nhất

$$M_{g-min} = \frac{2n(V_{out-min} + V_F)}{V_{in-max}} = 0,96$$

Với $V_{out-min} = 24 \cdot (1 - 1\%)$, $V_F = 0,7V$

$$M_{g-max} = \frac{2n(V_{out-max} + V_F + V_{loss})}{V_{in-min}} = 1,11$$

Với $V_{out-max} = 24 \cdot (1 + 1\%)$, $V_{loss} = 1,05V$



Hình 2.6. Đồ thị hệ số Q_e

Bước 3: Lựa chọn M_g và L_n

Từ hình 2.6 có thể thấy với giá trị L_n càng nhỏ, tức là điện cảm cộng hưởng L_r càng lớn, đường M_g càng dốc, đồng nghĩa với việc tần số thay đổi thì điện áp thay đổi càng nhanh. Theo các tài liệu tham khảo, giá trị L_n thường chọn trong khoảng từ 5 đến 10. Chọn $L_n=3,5$ và $Q_e=0,45$.

Bước 4: Tính điện trở qui đổi về phía sơ cấp

$$R_e = \frac{8n^2 V_{out}}{\pi^2 I_{out}} = 49,8\Omega$$

Bước 5: Tính toán thông số các phần tử cộng hưởng

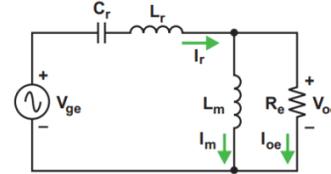
$$C_r = \frac{1}{2\pi Q_e f_0 R_e} = 13,6nF$$

$$L_r = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_r} = 27,3\mu H$$

$$L_m = L_n \cdot L_r = 95,6\mu H$$

b. *Tính toán các thông số của van bán dẫn*

Phía sơ cấp là van bán dẫn MOSFET, van thứ cấp là diode được lựa chọn dựa trên điện áp và dòng điện định mức của van.



Hình 2.7. Sơ đồ mạch tương đương của phần cộng hưởng và MBA.

Tính toán dòng điện phía sơ cấp:

$$I_{oe} = \frac{\pi I_{out}}{2\sqrt{2} n} = 3,47A$$

$$I_m = 0,9 \cdot \frac{n \cdot V_{out}}{\omega L_m} = 2,46A$$

$$I_r = \sqrt{I_{oe}^2 + I_m^2} = 4,25A$$

Tính toán dòng phía thứ cấp:

$$I_{oe-s} = n \cdot I_{oe} = 27,76A$$

Với điện áp đầu vào 400V thì các van MOSFET bên sơ cấp phải chịu được điện áp 700V, dòng điện 10A. Còn diode bên thứ cấp chịu được dòng điện lớn khoảng 60A.

3. Kết luận

Để đáp ứng yêu cầu đào tạo kỹ sư thực hành có khả năng ứng dụng lý thuyết giải quyết vào thực tế, nhiều vấn đề kỹ thuật được đưa vào giảng dạy trong chương trình đào tạo. Bộ biến đổi DC-DC sử dụng rộng rãi trong cung cấp điện cho các loại xe điện nên được đưa vào giảng dạy. Bài báo trình bày các bước thiết kế bộ biến đổi DC-DC cộng hưởng LLC sử dụng phần mềm Matlab. Các bước thiết kế bộ DC-DC cộng hưởng LLC giúp cho giảng viên và sinh viên trong việc giảng dạy và nghiên cứu các bộ biến đổi điện năng.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Trần Trọng Minh (2012), Điện tử công suất, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Texas Instruments Incorporated (2010), *Design an LLC Resonant Haft-Bridge Power Converter*.
- [3]. R. L. Steigerwald (1988), *A comparison of half-bridge resonant converter topologies*, IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 3, no. 2, 1988.
- [4]. Jin-Yong Bea, "Resonant Characteristics of the LLC Resonant Half-Bridge Converter for the Rapid Charging of Personal Mobility Device Smart Batteries", MDPI, Republic of Korea.