

NGHIÊN CỨU VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM LƯỚI ĐIỆN MỘT CHIỀU SIÊU NHỎ

RESEARCH AND DESIGN MODEL OF DC NANO-GRID

Đặng Hồng Hải^{1*}, Cao Đức Thanh¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.162>

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, với sự quan tâm và hỗ trợ mạnh mẽ từ chính phủ về truyền tải năng lượng điện, lưới điện một chiều đang dần trở nên phổ biến và được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp cũng như dân sinh. Lưới điện một chiều cỡ siêu nhỏ (DC Nano-Grid) với dải điện áp thấp được xem là một cấu trúc đầy hứa hẹn và triển vọng trong tương lai do hiệu quả, thông minh cao và độ tin cậy của nó mang lại. Với ưu điểm đặc biệt là tiết kiệm năng lượng, không có tổn thất điện dung và dễ dàng tích hợp với các hệ thống năng lượng tái tạo cũng như hệ thống lưu trữ năng lượng, đây được xem là một chủ đề rất thú vị và đáng xem xét. Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ đưa ra và nghiên cứu cấu trúc điển hình của một mạng phân phối điện một chiều trong dân sinh, từ cơ sở đó để xuất và xây dựng mô hình lưới điện một chiều cỡ siêu nhỏ với hai bộ biến đổi công suất quan trọng trong mạng là bộ chỉnh lưu AC/DC với điện áp đầu vào xoay chiều 220V và mạch hạ áp DC/DC để đưa điện áp một chiều đầu ra 12V, các kết quả mô phỏng tính toán, thiết kế và thực nghiệm sẽ được đưa ra để kiểm chứng tính đúng đắn của lý thuyết cũng như khía cạnh thiết kế.

Từ khóa: DC Bus, mạng phân phối điện một chiều, DC Nano-Grid.

ABSTRACT

In recent years, with strong attention and support from the government on electric energy transmission, DC grid is gradually becoming popular and widely applied in industry as well as in daily life. DC nano-grid with low voltage range is considered a promising structure and future prospects due to its high efficiency, intelligence and reliability. With the special advantage of energy saving, no capacitance loss and easy integration with renewable energy systems as well as energy storage systems, this is considered an interesting topic. In this paper, the authors will present and study the typical structure of a DC distribution network in people's lives, then propose and build a model of a small DC power grid with two sets which is an AC/DC rectifier circuit with an input voltage of 220VAC and a DC/DC low-voltage circuit to give an output voltage of 12VDC, the simulation and experimental results will be given to verify the correctness of the theory as well as the design aspect.

Keywords: DC Bus, DC-DC power converters, DC Nano-Grid.

¹Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: danghonghai@vamaru.edu.vn

Ngày nhận bài: 27/3/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 24/4/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2023

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay các xu hướng mới về sản xuất và tiêu thụ năng lượng ngày càng lớn dẫn đến yêu cầu về sự thay đổi của lưới

điện. Các hệ thống lưu trữ và các nguồn năng lượng tái tạo như điện gió, điện năng lượng mặt trời đang dần được áp dụng ngày càng phổ biến như một sự thay thế cho hệ điện tập trung. Các hệ thống này đã được sử dụng rộng rãi trong các tòa nhà, văn phòng, nhà máy thậm chí trong các hộ gia đình [1, 2]. Do đó, mạng lưới cung cấp điện phải luôn đảm bảo tính ổn định và tin cậy về dòng năng lượng, có khả năng đối mặt với hệ thống đa dạng với các tác nhân, các yêu cầu về năng lượng khác nhau [3,4]. Để giải quyết vấn đề này, rất nhiều giải pháp được đưa ra trong đó tiêu biểu và phổ biến nhất là xây dựng các lưới điện một chiều cỡ nhỏ (micro-grid) hoặc siêu nhỏ (nano-grid) hay còn nói cách khác là lưới điện thông minh [5]. Việc tiếp cận này sử dụng cách thức chia lưới chính các nhiều lưới phụ nhỏ thông minh còn gọi là micro-grids riêng biệt bằng cách sử dụng các bộ chuyển đổi phổ biến như chỉnh lưu, các bộ biến đổi dòng áp một chiều kết nối vào kiến trúc lưới truyền thống. Thậm chí cấu trúc này có thể thu nhỏ tới mức nano-grids và đã được ứng dụng rất nhiều trong những năm gần đây cho các ứng dụng từ phân phối điện trong nước, sinh hoạt, sản xuất [1]. Rất nhiều nghiên cứu đã đề xuất việc thay thế mạng cung cấp điện xoay chiều truyền thống bằng mạng một chiều trong hệ thống các lưới phụ để tăng hiệu quả truyền tải năng lượng. Cách này đã được áp dụng phổ biến ở các trung tâm xử lý dữ liệu nơi có nhu cầu về mạng lưới điện một chiều lớn [6, 7].

Bài báo tập trung nghiên cứu mạng lưới phân phối điện một chiều cỡ nhỏ dải điện áp thấp với cấu trúc như sau: Trong phần 2, cơ sở lý thuyết về cấu trúc mạng cung cấp điện một chiều sẽ được đưa ra và phân tích. Việc nghiên cứu và thiết kế cho mạch công suất có trong mạng cũng được trình bày ở phần này. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm sẽ được đưa ra ở phần 3 để kiểm chứng tính đúng đắn của lý thuyết cũng như phương diện thiết kế. Cuối cùng, các kết luận chính sẽ được tóm tắt trong mục 4.

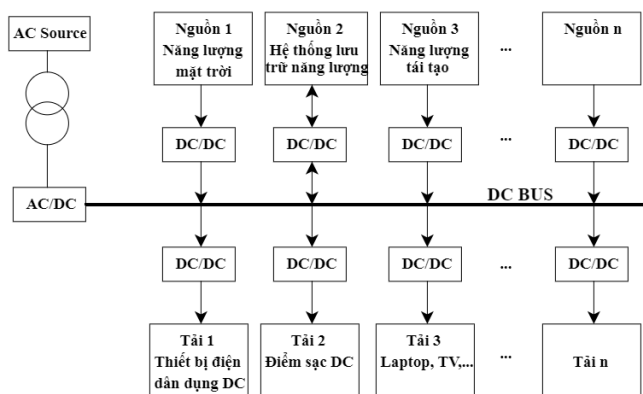
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

2.1. Cấu trúc của mạng phân phối điện một chiều DC Nano-Grid

Cấu trúc của một mạng phân phối điện một chiều cỡ nhỏ trong dân sinh được thể hiện như hình 1.

Hệ thống bao gồm tổ hợp các thiết bị điện tử công suất có nhiệm vụ biến đổi điện áp và dòng điện xoay chiều từ lưới thành dòng áp một chiều cung cấp cho nhiều dạng tải khác

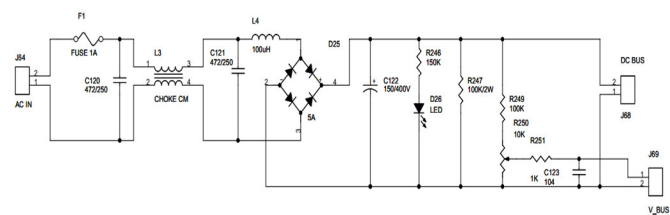
nhau. Điện áp sau khi được chỉnh lưu sẽ được hạ áp xuống mức điện áp phù hợp hơn cho các cụm phụ tải thông qua các bộ biến đổi dòng áp một chiều. Một điểm nổi bật của mạng này các hệ thống dự trữ năng lượng, hệ thống điện phân tán, năng lượng tái tạo có thể dễ dàng kết nối tích hợp với hệ thống chính thông qua các bộ biến đổi phù hợp làm cho mạng phân phối điện này trở nên đa năng và thông minh hơn. Hai bộ biến đổi công suất đặc trưng và quan trọng trong mạng chính là các bộ chỉnh lưu và các bộ biến đổi dòng áp một chiều thường là bộ hạ áp. Do đó, bài báo tập trung phân tích, thiết kế cho hai bộ biến đổi này với điện áp đầu vào xoay chiều một pha 220V cấp cho bộ chỉnh lưu cầu, điện áp ngõ ra chỉnh lưu được hạ xuống 12VDC thông qua bộ hạ áp DC/DC flyback converter.



Hình 1. Cấu trúc của mạng phân phối điện một chiều trong dân sinh

2.2. Thiết kế bộ chỉnh lưu AC/DC

Với điện áp đầu vào sử dụng là điện xoay chiều một pha 220V, tần số 50Hz, công suất đầu ra và tải không đòi hỏi yêu cầu quá cao, vì vậy trên phương diện thiết kế nhóm tác giả sử dụng chọn bộ biến đổi chỉnh lưu cầu diode một pha cả chu kỳ để tạo điện áp một chiều. Đây sẽ được xem là lưới điện một chiều chính để cung cấp cho các cụm phụ tải cũng như nguồn cấp chính cho các mạch biến đổi hạ áp DC/DC được thiết kế chi tiết ở phần sau. Sơ đồ nguyên lý cơ bản của mạch được thể hiện như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý mạch chỉnh lưu cầu một pha AC-DC có bộ lọc cao tần đầu vào

Mạch nguồn xoay chiều thường tạo ra nhiều nhiễu sóng điện từ (EMI) nên cần trang bị bộ lọc để nâng cao hệ số công suất nguồn chỉnh lưu. Các tụ lọc đầu vào C120, C121 làm chậm mạch các xung nhiễu công nghiệp tần số lớn. Cuộn cảm L3 ngăn chặn các xung nhiễu tần số cao lọt vào nguồn. Sau khi qua khâu chỉnh lưu, điện áp xoay chiều biến đổi điện áp xoay chiều thành một chiều, tụ lọc đầu ra C122 có chức

năng san phẳng điện áp sau chỉnh lưu. Giả sử tải thuần trở, điện áp trung bình trên tải của mạch chỉnh lưu cầu một pha toàn phần khi mắc thêm tụ lọc có thể tính theo phương trình:

$$U_d = 2,414U_{in} \tag{1}$$

Trong đó: U_d là điện áp ra trung bình trên tải (V);

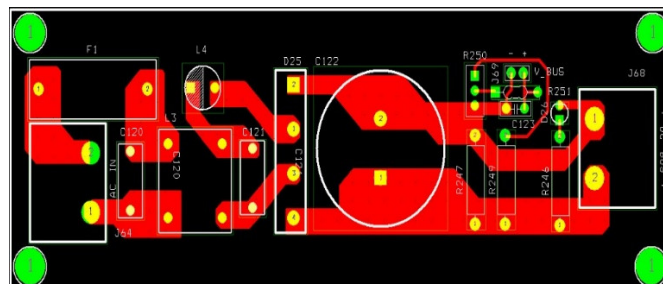
U_{in} là điện áp đầu vào bộ chỉnh lưu (V).

Điện áp ngược cực đại đặt trên diode chọn lớn hơn 2 lần điện áp đầu vào, độ gợn điện áp của tụ 10%. Trên cơ sở sơ đồ nguyên lý, tham số đầu vào, linh kiện được chọn theo bảng 1 để xây dựng phần cứng cho mạch chỉnh lưu.

Bảng 1. Thông số, linh kiện đầu vào mạch chỉnh lưu AC/DC

Các linh kiện/thông số đầu vào	Kí hiệu	Giá trị/model
Điện áp đầu vào chỉnh lưu	AC_IN	220VAC
Tần số lưới	F	50Hz
Tụ lọc đầu vào	C120, C121	0,0047uF
Điện cảm bộ lọc	L3	10mH
Cầu diot chỉnh lưu	D25	RS507(1000V/5A)
Tụ lọc đầu ra	C122	0,015nF

Từ sơ đồ nguyên lý, sơ đồ mạch in như hình 3 được thực hiện trên phần mềm Orcad dựa trên các linh kiện và thông số đầu vào được chọn.



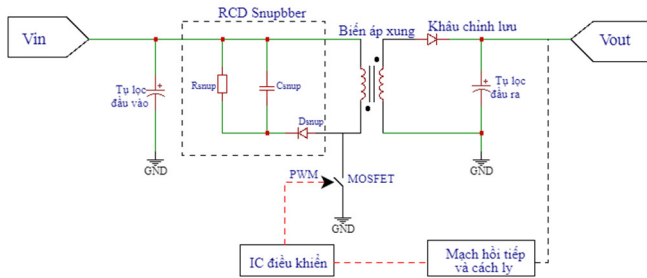
Hình 3. PCB bộ chỉnh lưu trên phần mềm Orcad

2.3. Bộ hạ áp DC/DC flyback

2.3.1. Cơ sở lý thuyết

Bộ biến đổi hạ áp DC/DC sử dụng phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM) được sử dụng rộng rãi trong hiện nay vì phản ứng động nhanh, điều khiển dễ dàng và cấu trúc đơn giản. Chúng được phân loại thành hai phần là bộ hạ áp DC/DC cách ly và không có cách ly. Trong bài báo này, bộ hạ áp DC/DC cách ly flyback converter được lựa chọn sử dụng để tính toán và thiết kế với ưu điểm: cuộn sơ cấp được cách ly với đầu ra, có khả năng cung cấp nhiều dải điện áp đầu ra, tất cả đều được cách ly với nguồn chính; có thể hoạt động trên nhiều loại điện áp đầu vào. Bộ hạ áp flyback converter có thể được thiết kế để hoạt động ở một trong hai chế độ. Trong chế độ dẫn không liên tục (DCM), biến áp được phép khử từ hoàn toàn trong mỗi chu kỳ đóng cắt. Ở chế độ dẫn liên tục (CCM), dòng điện luôn chạy trong biến áp trong mỗi chu kỳ đóng cắt. Do đó, một số năng lượng dư luôn có trong biến áp, bởi vì mỗi chu kỳ đóng cắt bắt đầu trước khi dòng điện hoàn toàn cạn kiệt. Với chế độ DCM, không có tổn hao

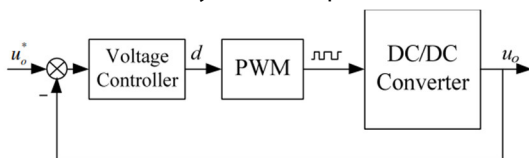
phục hồi ngược trong bộ chỉnh lưu đầu ra vì dòng điện của nó giảm xuống 0 trong mọi chu kỳ chuyển mạch. DCM do tính ổn định nhưng có dòng gợn rất lớn và do đó yêu cầu bộ lọc. Cấu trúc của một bộ hạ áp DC/DC được thể hiện như hình 4.



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý bộ hạ áp DC/DC flyback

Từ sơ đồ nguyên lý hình 4, tụ lọc đầu vào có vai trò lọc điện áp đầu vào, dự trữ và cung cấp điện trong một thời gian ngắn nếu đầu vào bị ngắt trong giây lát. Vin là nguồn điện một chiều đã qua bộ chỉnh lưu. RCD snubber: Được kết nối với đầu vào và khóa điện tử MOSFET nhằm giảm điện áp xung gai, tạo bởi điện cảm rò của cuộn sơ cấp trong biến áp xung. Biến áp xung chuyển đổi điện áp, cách ly điện áp đầu vào và đầu ra.

Linh kiện chuyển mạch thường sử dụng mosfet, mạch điều khiển tạo xung PWM để đóng mở mosfet nhận tín hiệu hồi tiếp điện áp để đảm bảo điện áp ra ổn định. Khâu chỉnh lưu đầu ra thường sử dụng các loại diode chuyển mạch nhanh. Tụ lọc đầu ra giữ vai trò lọc điện áp ra của nguồn. Mạch hồi tiếp và cách ly: hồi tiếp điện áp ra, để mạch điều khiển độ rộng xung đảm bảo điện áp ra được ổn định sử dụng cách ly quang để cách ly điện áp đầu ra với đầu vào. Hình 5 minh họa cấu trúc điều khiển bộ biến đổi hạ áp DC/DC sử dụng một vòng phản hồi kín, đầu ra bộ điều chỉnh điện áp chính là hệ số điều chế sẽ được đưa đến khối phần tử đóng cắt có vai trò phát tín hiệu xung PWM đưa vào bộ biến đổi DC/DC làm thay đổi điện áp đầu ra.



Hình 5. Cấu trúc điều khiển bộ biến đổi hạ áp DC/DC flyback

2.3.2. Tính toán thiết kế mạch hạ áp một chiều flyback

Bài báo đi sâu phân tích và thiết kế một bộ chuyển đổi hạ áp một chiều flyback DC/DC với đầu vào được lấy điện áp từ sau bộ chỉnh lưu cầu diode toàn phần đã được trình bày trước đó. Với IC điều khiển sử dụng UC3843AN. Các tính toán sẽ được thực hiện dựa trên các thông số đầu vào như bảng 2.

Bảng 2. Bảng thông số đầu vào của mạch hạ áp DC/DC flyback converter

Thông số	Giá trị
Điện áp đầu vào (Vin)	80VDC đến 320VDC

Điện áp đầu ra (Vout)	12VDC
Dòng điện đầu ra (Iout)	1A
Chế độ hoạt động	DCM (Discontinuous Conduction Mode) Chế độ dẫn không liên tục
Hệ số gợn sóng (KFR)	1
Duty cycle tối đa (Dmax)	0,5
Tần số chuyển mạch (fsw)	100kHz
Hiệu suất ước tính (η)	80%

Giá trị cuộn cảm sơ cấp (Lp) của biến áp xung được ước tính theo phương trình (2), khi nguồn hoạt động hết công suất với điện áp đầu vào tối thiểu và Duty cycle tối đa, ta giới hạn cho độ tự cảm tối đa của cuộn sơ cấp là Lp:

$$L_p = \frac{\eta \cdot D_{Max}^2 \cdot V_{IN_Max}^2}{2 \cdot f_{sw} \cdot K_{fr} \cdot P_o} \tag{2}$$

Tỷ lệ vòng dây yêu cầu (n) được ước tính trong trường hợp điện áp đầu vào tối đa và D tối đa. Điện áp chuyển tiếp của diode (VD) được thêm vào để làm cho phép tính chính xác hơn. Tính toán n với phương trình:

$$n = \frac{V_{IN_Max} \cdot D_{Max}}{(1 - D_{Max})(V_o + V_D)} \tag{3}$$

Điện áp tối đa mà Mosfet phải chịu:

$$V_{DS_Max} = V_{IN_Max} + \frac{V_{IN_Min} \cdot D_{Max}}{1 - D_{Max}} \tag{4}$$

Dòng điện tối đa mà Mosfet phải chịu:

$$I_{D_PK} = \frac{P_{IN}}{D_{Max} \cdot V_{IN_Min}} + \frac{D_{Max} \cdot V_{IN_Min}}{2 \cdot f_{sw} \cdot L_{p_Max}} \tag{5}$$

Điện áp tối đa mà diode chỉnh lưu phía thứ cấp phải chịu, ta có thể thêm mức an toàn 40% để xác định điện áp ngược tối đa của diode:

$$V_{D1_PK} = V_{out} + \frac{V_{IN_Max}}{n} \tag{6}$$

Diện tích tối thiểu của biến áp xung:

$$A_p = \left(\frac{L_p \cdot I_{p_max} \cdot I_p}{B_{max} \cdot 0,0085} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot 10^4 \tag{7}$$

Lõi ferit có hình chữ E kép EE13 và suất chỉ có chiều dài tối thiểu 0,28mm đã được chọn. Số vòng quay sơ cấp của máy biến áp được xác định:

$$N_p = \frac{L_m \cdot I_{PK_Max} \cdot 10^6}{B_{max} \cdot A_E} \tag{8}$$

Trong đó:

Bmax là mật độ từ thông lớn nhất là một tham số đầu vào được xác định; đối với lõi ferit, nó thường nằm trong khoảng từ 0,2T đến 0,3T.

AE là diện tích mặt cắt ngang của biến áp.

Số vòng thứ sơ cấp của biến áp xung (10):

$$N_s = \frac{N_p}{n} \tag{9}$$

Đối với mạch RCD snubber, chọn độ tự cảm rò rỉ được ước tính là khoảng 2% độ tự cảm sơ cấp, độ gợn điện áp của tụ điện trong mạch snubber tối đa được đặt thành 10%. Điện áp cực đại của tụ điện trong mạch Snubber:

$$V_{C_{max}} = V_{DS_Max} \cdot 0,1 \cdot \frac{D_{max}}{1-D_{max}} \cdot V_{IN_MIN} \quad (10)$$

Ước tính công suất trên điện trở snubber:

$$P_{R_{snubber}} = \frac{I_{D_PK}^2 \cdot 2\% \cdot L_p \cdot f_{sw}}{2} \quad (11)$$

Ước tính giá trị điện trở subber:

$$R_{snubber} = \frac{(V_{c_max})^2}{P_{R_{snubber}}} \quad (12)$$

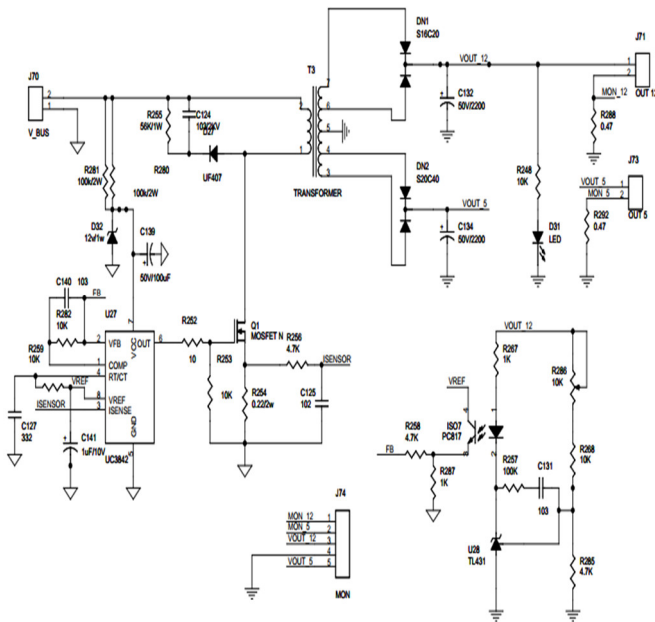
Ước tính giá trị của tụ điện trong mạch snubber theo phương trình:

$$C_{snubber} = \frac{1}{\Delta V_c \cdot R_{snubber} \cdot f_{sw}} \quad (13)$$

Điện áp tối đa trên diode snubber :

$$V_{D_snubber} \approx 1,2 \cdot V_{DS_Max} \quad (14)$$

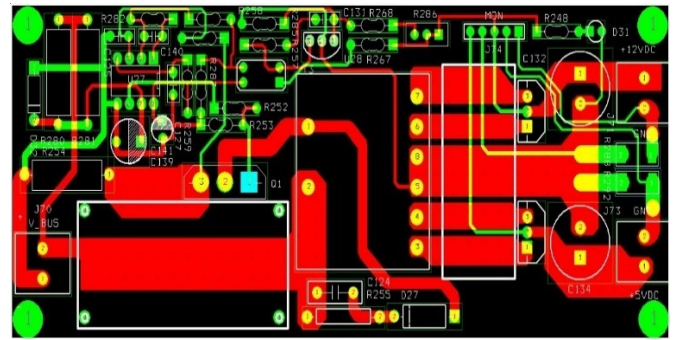
Dựa trên các phương trình tính toán, sơ đồ điều khiển và đấu nối của mạch hạ áp DC/DC flyback converter được xây dựng và thiết kế trên phần mềm proteus được thể hiện trên hình 6. Các linh kiện phần cứng lựa chọn theo bảng 3, sơ đồ mạch in được thể hiện trên hình 7.



Hình 6. Mạch nguyên lý bộ hạ áp DC được xây dựng trên phần mềm Proteus
Bảng 3. Bảng các tham số các linh kiện chính của mạch hạ áp DC/DC flyback

Các linh kiện	Kí hiệu trong mạch	Giá trị/Model
IC điều khiển	UC3842	UC3842AN
Mosfet	Q1	W10NK60Z (600V/10A)

Tụ lọc đầu ra	C132	2200µF/50V
Diode chỉnh lưu đầu ra	DN1	F16C20C
Mạch snubber:		
Điện trở Snubber	R255	R255 = 56kΩ
Tụ điện	C124	C124 = 0,01µF
Diode xung	D27	UF4007(1000V/1A)
Biến áp xung	T3	EI33, lõi ferit, n = 25
Phần tử cách lý quang	IS07	PC817



Hình 7. PCB mạch hạ áp DC được xây dựng trên phần mềm Proteus

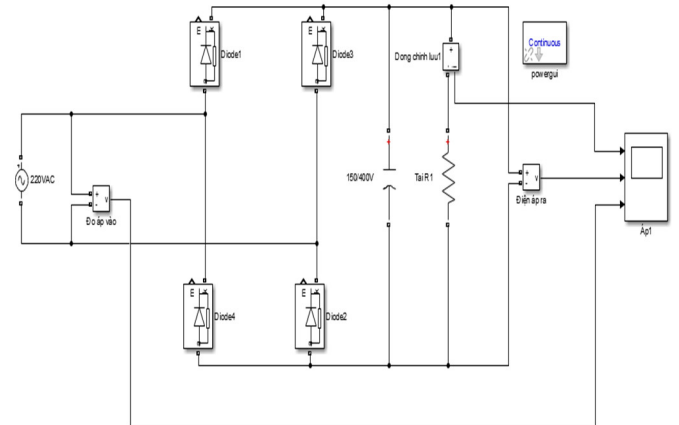
3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM

3.1. Kết quả mô phỏng

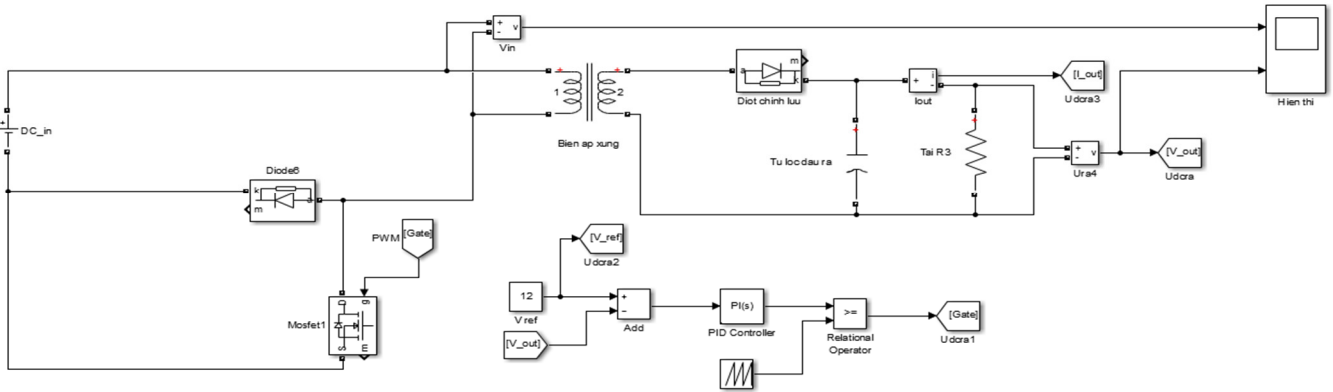
Mô phỏng các mạch chỉnh lưu cầu một pha, bộ biến đổi DC/DC hạ áp flyback sử dụng lưới 1 pha 220VAC, tần số $f = 50\text{Hz}$ được thực hiện trên Matlab-Simulink. Cấu trúc mô phỏng được thể hiện trên các hình 8, 9. Kết quả mô phỏng thể hiện điện áp một chiều ngõ ra thu được trên hình 10, 11. Hệ thống mô phỏng sử dụng các thông số như bảng 4.

Bảng 4. Thông số dùng cho mô phỏng trên Matlab-Simulink

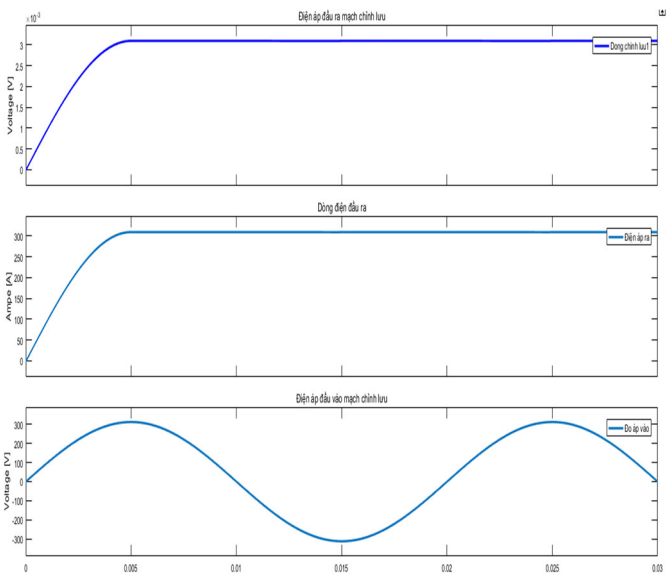
Thông số	Giá trị
Điện áp đầu vào	220VAC
Tần số lưới	50Hz
Tụ lọc đầu ra mạch chỉnh lưu cầu	0,015nF
Tụ lọc đầu ra phía sơ cấp mạch hạ áp	2200µF
Tải thuần trở	10Ω



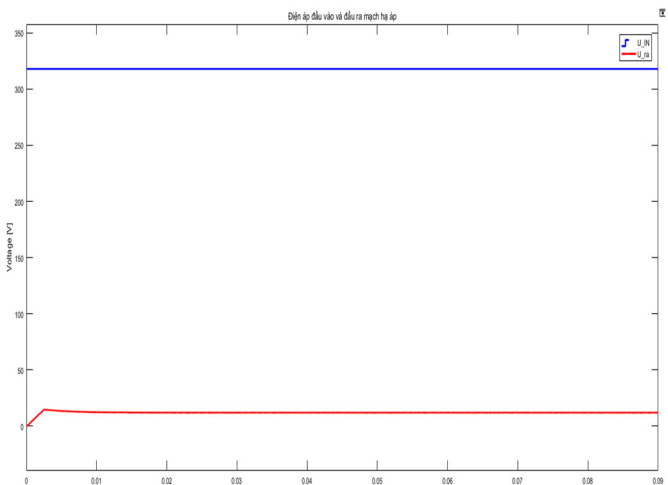
Hình 8. Mô hình mô phỏng chỉnh lưu cầu một pha trên phần mềm Matlab tải thuần trở với điện áp đầu vào 220VAC



Hình 9. Cấu trúc mô phỏng mạch hạ áp flyback converter trên phần mềm Matlab tải thuận trở



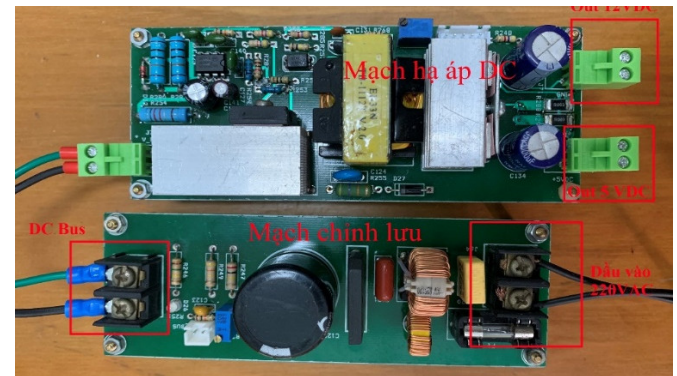
Hình 10. Điện áp, dòng điện đầu ra mạch chỉnh lưu xấp xỉ



Hình 11. Điện ngõ ra 12V sau khi được hạ áp bởi bộ flyback converter

Nhận xét: Từ kết quả mô phỏng, với tín hiệu đầu vào xoay chiều 220V, điện áp ngõ ra sau mạch chỉnh lưu cấu thu được là điện áp một chiều cỡ 311V được thể hiện trên hình 9, sau khi qua mạch hạ áp flyback điện áp được giảm xuống 12V như hình 10.

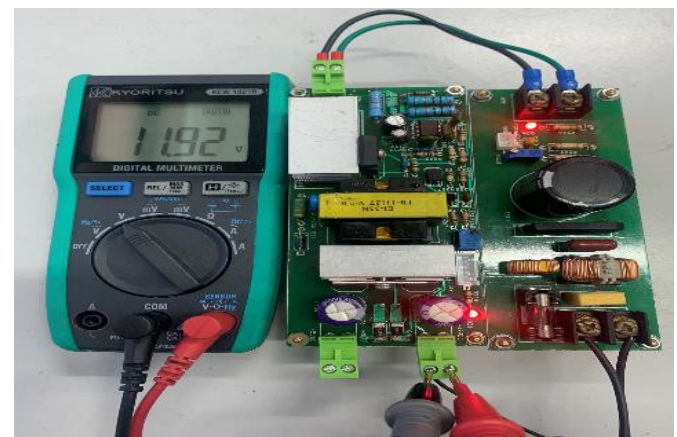
3.2. Kết quả thực nghiệm



Hình 11. Mạch chỉnh lưu và hạ áp sau khi được hoàn thiện



Hình 12. Kết quả đo điện áp ngõ ra bộ chỉnh lưu 318VDC



Hình 13. Kết quả đo điện áp ngõ ra bộ hạ áp DC/DC flyback 11,92V

Sau khi đã tính toán các phần tử, thiết bị cũng như mô phỏng các mạch công suất, mô hình vật lý của hai mạch công suất được xây dựng như hình 11, điện áp ngõ ra được kiểm nghiệm bằng đồng hồ đo. Với mạch chỉnh lưu, điện áp ngõ ra đo được 318V (hình 12). Mạch hạ áp đo được điện áp ngõ ra là 11,92V được thể hiện trên hình 13 đáp ứng yêu cầu về mặt thiết kế.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày tổng quan cấu trúc của mạng phân phối điện một chiều cỡ siêu nhỏ (DC nano-grid) với dải điện áp thấp. Trên cơ sở lý thuyết, bộ chỉnh chỉnh lưu cầu diode toàn phần và bộ hạ áp DC/DC flyback converter đã được lựa chọn và thiết kế. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm đáp ứng được yêu cầu đặt ra, với mạch chỉnh lưu, kết quả đo thực tế cho thấy điện áp xoay chiều 220V đã được chuyển thành điện áp một chiều một chiều ($\approx 318V$). Mạch hạ áp flyback sử dụng biến áp xung và mosfet hoạt động đúng nguyên lý khi hạ điện áp một chiều sau chỉnh lưu xuống 12VDC với sai số nhỏ hơn 1%. Các nghiên cứu trong tương lai sẽ tập trung vào việc nâng cao công suất cho mạng bằng cách chọn những linh kiện, phần tử công suất có dải công suất cao hơn; tích hợp thêm các hệ thống như hệ thống năng lượng tái tạo, dự trữ năng lượng vào hệ thống; thiết kế thêm khâu giám sát, đo lường và cảnh báo các thông số quan trọng như dòng điện, điện áp và công suất hoàn thiện hệ thống thực nghiệm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT22-23.59

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Blaabjerg F., Chen Z., Kjaer S.B., 2004. *Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems*. IEEE Trans. Power Electron., 19, 1184–1194.
- [2]. Nonogaki M., Kikuchi T., Keiichi H., Hidenori M., Takashi T., 2014. *Development of the mutual energy exchanging system between areas by the direct-current system which utilized renewable energy*. In Proceedings of the 2014 IEEE 36th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), Vancouver, BC, Canada, pp. 1–6.
- [3]. Boroyevich D., Cvetkovic I., Dong D., Burgos R., Wang F., Lee F., 2010. *Future electronic power distribution systems - A contemplative view*. In Proceedings of the 2010 12nd International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, Basov, Romania, pp. 1369–1380.
- [4]. Power Division of the IEE. In Proceedings of the International Conference on AC and DC Power Transmission, London, UK, 17–20 September 1991; Institution of Engineering & Technology: London, UK, 1991; p. 427.
- [5]. Liu X., Su B., 2008. *Microgrids - An integration of renewable energy technologies*. In Proceedings of the 2008 China International Conference on Electricity Distribution, Guangzhou, China, pp.1–7.
- [6]. Sannino A., Postiglione G., Bollen M.H., 2003. *Feasibility of a DC network for commercial facilities*. IEEE Trans. Ind., 39, 1499–1507.

[7]. Wunder B., Kaiser J., Fersterra F., Ott L., Han Y., Marz M., 2015. *Energy distribution with DC microgrids in commercial buildings with power electronics*. In Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST), Vienna, Austria, pp. 425–430.

[8]. M. O. Badawy, Y. Sozer, J. A. De Abreu-Garcia, 2016. *A novel control for a cascaded buck-boost PFC converter operating in discontinuous capacitor voltage mode*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 7, pp.4198–4200.

[9]. B. Akin, 2020. *Snubber circuit application for power factor correction flyback led driver*. Electronica, vol. 20, no.1, pp.108-116.

[10]. N. Weidong, Y. Zongguang, W. Haibing, G. Bin, T. Long, Y. Lihang, 2014. *A PSR single-stage flyback LED driver with simple line regulation and quasi-resonant operation*. Journal of Semiconductors, vol.35, no.8, pp. 1-6.

[11]. Y. Şahin, N.S Ting, 2018. *Soft switching passive snubber cell for family of PWM DC-DC converters*. Electrical Engineering, vol.100, pp. 1785-1796.

[12]. M. Mohammadi, E. Adib, M.R.Yazdani, 2015. *Family of soft-switching single-switch PWM converters with lossless passive snubber*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol.62, no.6, pp. 3473-3481.

[13]. N. Kondrath, M. K. Kazmierczuk, 2012. *Comparison of wide- and highfrequency duty-ratio-to-inductorcurrent transfer functions of DC-DC PWM buck converter in CCM*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol.59, no.1, pp. 641–642

AUTHORS INFORMATION

Dang Hong Hai, Cao Duc Thanh

Faculty of Electrical - Electronic Engineering, Vietnam Maritime University