

**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN**

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU VÀ THIẾT KẾ BỘ CHUYỂN ĐỔI
DC-DC CÓ HỆ SỐ KHUẾCH ĐẠI ĐIỆN ÁP CAO**

GV hướng dẫn:

Sinh viên thực hiện:

Mã số sinh viên:

Lớp:

TS. TRẦN THÁI ANH ÂU

Hồ Xuân Khánh

Phạm Dương Thạch

105200304

105200312

20TDH1

Đà Nẵng, 06/2025

TÓM TẮT

Tên đề tài: “*Nghiên cứu và thiết kế bộ chuyển đổi DC-DC có hệ số khuếch đại điện áp cao.*”

Sinh viên thực hiện: Hồ Xuân Khánh - Phạm Dương Thạch.

Số thẻ SV:105200304 – 105200312

Lớp: 20TDH1

Đề tài tốt nghiệp này đề xuất một cấu trúc tăng áp DC-DC mới nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về các giải pháp chuyển đổi năng lượng hiệu quả, đặc biệt trong lĩnh vực năng lượng tái tạo. **Chương 1** trình bày tổng quan về đề án, phương pháp nghiên cứu, mục tiêu cũng như bố cục nghiên cứu của đề tài, trong đó trọng tâm được đặt vào hệ thống chuyển đổi DC-DC. **Chương 2** phân tích các phương pháp tăng áp DC-DC truyền thống, đồng thời chỉ ra những hạn chế còn tồn tại, từ đó làm rõ tính cấp thiết của đề tài. Trên cơ sở đó, **Chương 3** đề xuất một cấu trúc tăng áp DC-DC cải tiến với những ưu điểm vượt trội về hiệu suất, độ ổn định và khả năng ứng dụng thực tiễn, góp phần giải quyết các thách thức trong lĩnh vực chuyển đổi năng lượng tái tạo. Các kết quả đạt được và phương hướng phát triển trong tương lai sẽ được trình bày tại **Chương 4**.

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

TT	Họ tên sinh viên	Số thẻ SV	Lớp	Ngành
1	Hồ Xuân Khánh	105200304	20TDH1	Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa
2	Phạm Dương Thạch	105200312	20TDH1	Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa

1. Tên đề tài đồ án:

Nghiên cứu và thiết kế bộ chuyển đổi DC-DC có hệ số khuếch đại điện áp cao.

2. Đề tài thuộc diện: ☐ Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện

3. Các số liệu và dữ liệu ban đầu:

4. Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:

a. Phần chung:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Hồ Xuân Khánh	Nghiên cứu các vấn đề bộ chuyển đổi DC-DC truyền thống, các phương pháp tăng điện áp Phân tích nguyên lý hoạt động, tỷ lệ chuyển đổi điện áp Tính toán điện áp ngược trên từng thiết bị Kiểm chứng tính khả thi của mạch bằng phần mềm SIMETrix-SIMPLIS.
2	Phạm Dương Thạch	Thiết kế mạch trên phần mềm Sprint Layout 6.0 Tính toán số vòng quấn cuộn cảm, số vòng quấn trên cuộn cảm ghép. Đo đạc kiểm chứng kết quả mạch thực

b. Phần riêng:

TT	Họ tên sinh viên	Nội dung
1	Hồ Xuân Khánh	Nghiên cứu các vấn đề bộ chuyển đổi DC-DC truyền thống, các phương pháp tăng điện áp Phân tích nguyên lý hoạt động, tỷ lệ chuyển đổi điện áp Tính toán điện áp ngược trên từng thiết bị Kiểm chứng tính khả thi của mạch bằng phần mềm SIMETrix-SIMPLIS

PHIẾU KIỂM SOÁT TIẾN ĐỘ LÀM ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

(Phiếu dành cho người hướng dẫn/sinh viên)

Họ tên sinh viên: Hồ Xuân Khánh

Số thẻ SV: 105200304

Phạm Dương Thạch

Số thẻ SV: 105200312

Tên đề tài ĐATN: *Nghiên cứu và thiết kế bộ chuyển đổi DC-DC có hệ số khuếch đại điện áp cao.*

Họ tên người HD: . TS. Trần Thái Anh Âu

Đơn vị: Khoa Điện

Tuần	Ngày	Khối lượng		GVHD ký tên
		đã thực hiện (%)	tiếp tục thực hiện (%)	
1	3/3/25	Nhận đề tài	Nghiên cứu lý thuyết liên quan đến điện tử công suất	
2	10/3/25	Nghiên cứu về lý thuyết điện tử công suất	Nghiên cứu về vai trò bộ chuyển đổi DC-DC	
3	17/3/25	Xác định vấn đề hiện tại gặp phải của các bộ chuyển đổi DC-DC hiện nay	Viết báo cáo chương 1	
4	24/3/25	Duyệt lần 1: Đánh giá khối lượng hoàn thành 25%: Được tiếp tục làm ĐATN ☐ Không tiếp tục thực hiện ĐATN ☐		
5	3/4/25	Nghiên cứu về phương pháp xử lý dòng năng lượng rò của cuộn cảm ghép	Nghiên cứu về tỷ lệ chuyển đổi điện áp	

6	10/4/25	Hoàn thành thuyết minh chương 1 Tiếp tục nghiên cứu về tỷ lệ chuyển đổi điện áp	Nghiên cứu về cách đạt được tỷ lệ chuyển đổi điện áp cao	
7	17/4/25	Nghiên cứu về phương pháp giảm điện áp ngược trên mosfet	Tiếp tục nghiên cứu về phương pháp giảm điện áp ngược trên mosfet , viết báo cáo Chương 2	
8	24/4/25	Duyệt lần 2: Đánh giá khối lượng hoàn thành 60 %: Được tiếp tục làm ĐATN ☐ Không tiếp tục thực hiện ĐATN ☐		
9	3/5/25	Hoàn thành báo cáo chương 2	Phân tích cấu trúc, nguyên lý hoạt động của mạch	
10	10/5/25	Tính toán điện áp ngược trên các thành phần của mạch, diode, tụ điện, mosfet.	Tính toán giá trị cuộn cảm, viết báo cáo Chương 3	
11	17/5/25	Viết báo cáo Chương 3	Mô phỏng trạng thái hoạt động của mạch trên phần mềm SIMETrix-SIMPLIS	
12	24/5/25	Duyệt lần 3: Đánh giá khối lượng hoàn thành 85 %: Được tiếp tục làm ĐATN ☐ Không tiếp tục thực hiện ĐATN ☐		
13	1/6/25	Tính toán thiết kế mạch cứng trên phần mềm Sprint Layout 6.0	Hoàn thiện mạch thực, thiết kế driver điều khiển mosfet	
14	8/6/25	Hoàn thiện driver điều khiển mosfet	Đo lấy các thông số thiết kế, hoàn thiện báo cáo Chương 3	
15	15/6/2	Phân tích tổn thất công suất trên mạch	Hoàn thiện nội dung báo cáo	

LỜI CẢM ƠN

Em xin chân thành cảm ơn quý Thầy Cô khoa Điện định hướng và đồng hành cùng chúng em trong quá trình học tập và nghiên cứu trong suốt quá trình học tập tại Trường Đại Học Bách Khoa Đà Nẵng

Ngoài lời cảm ơn với quý Thầy Cô khoa Điện. Nhóm chúng em gửi lời cảm ơn đến Thầy TS. Trần Thái Anh Âu, dưới sự tận tình hướng dẫn và vạch ra phương hướng nghiên cứu của đề tài nhóm đã đạt được những kết quả lớn trong suốt quá trình nghiên cứu và định hình nên tính chất, cũng như vai trò quan trọng của đề tài. Thầy đã hỗ trợ, tạo điều kiện trong việc tìm kiếm tài liệu cũng như kinh nghiệm thiết kế trong lĩnh vực điện tử công suất.

Xin chân thành cảm ơn!

LỜI CAM ĐOAN

Em xin cam đoan đề tài: “*Nghiên cứu và thiết kế bộ chuyển đổi DC-DC có hệ số khuếch đại điện áp cao*” là sự nghiên cứu của nhóm gồm Hồ Xuân Khánh và Phạm Dương Thạch. dưới sự hướng dẫn của TS. Trần Thái Anh Âu (Khoa Điện – Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng).

Đề tài, nội dung báo cáo là kết quả nghiên cứu mà nhóm em đã thực hiện trong quá trình học tập tại trường.

Các số liệu, kết quả trong báo cáo này là hoàn toàn trung thực, em xin chịu hoàn toàn trách nhiệm, kỷ luật của bộ môn và nhà trường nếu như có vấn đề xảy ra.

Sinh viên thực hiện

Hồ Xuân Khánh

Phạm Dương Thạch

NỘI DUNG

LỜI CẢM ƠN	VII
LỜI CAM ĐOAN	VIII
NỘI DUNG.....	IX
DANH MỤC HÌNH ẢNH.....	XI
DANH MỤC BẢNG	XII
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT	XIII
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU	2
1.1. Lý do chọn đề tài	2
1.2. Mục tiêu nghiên cứu.	3
1.3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu.	4
1.3.1. Đối tượng.....	4
1.3.2. Phạm vi nghiên cứu.	5
1.4. Phương pháp nghiên cứu.	5
1.5. Cấu trúc đồ án.....	5
CHƯƠNG 2. NHU CẦU BỘ CHUYỂN ĐỔI DC-DC, CÁC KỸ THUẬT KHUẾCH ĐẠI ĐIỆN ÁP.	6
2.1. Nhu cầu, ứng dụng các bộ chuyển đổi điện áp DC-DC ngày nay.....	6
2.2. Các cấu trúc chuyển đổi điện áp cổ điển.	7
2.2.1. Bộ chuyển đổi Boost.	8
2.2.2. Bộ chuyển đổi flyback.....	9
2.3. Các kỹ thuật tăng áp.	9
2.3.1. Cấu trúc Boost xếp chồng.....	9
2.3.2. Cấu trúc Boost bậc hai.....	10
2.3.3. Mạch nhân áp.....	10
2.4. Các cấu trúc tăng áp đã công bố.	11
2.4.1. Cấu trúc 1.....	11
2.4.2. Cấu trúc 2.....	12
2.4.3. Cấu trúc 3.....	12
2.4.4. Cấu trúc 4.....	13
CHƯƠNG 3. ĐỀ XUẤT BỘ CHUYỂN ĐỔI DC-DC MỚI	15

3.1. Giới thiệu cấu trúc bộ chuyển đổi mới.....	15
3.2. Nguyên lý hoạt động theo các chế độ chuyển mạch.	15
3.3. Phân tích mạch điện ở trạng thái xác lập.	18
3.3.1. Hệ số khuếch đại điện áp.	18
3.3.2. Tính toán điện áp ngược rơi trên các linh kiện.	19
3.3.3. Tính toán các giá trị của cuộn cảm ghép.....	19
3.3.4. Tính toán giá trị cuộn cảm đầu vào.....	22
3.3.5. Tính toán giá trị tụ điện.....	22
CHƯƠNG 4. MÔ PHỎNG & THỰC NGHIỆM.....	23
4.1. Thông số mạch.	23
4.2. Kết quả mô phỏng.	25
4.3. Thực nghiệm kiểm chứng.	26
4.4. So sánh với các bộ tăng áp DC-DC đã đề xuất.	29
4.5. Phân tích tổn hao, hiệu suất mạch điện.	31
4.6. Kết luận	33

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 2.1 Sơ đồ ứng dụng bộ chuyển đổi DC-DC trong hệ thống pin mặt trời.	6
Hình 2.2 Sơ đồ ứng dụng bộ chuyển đổi DC-DC trong hệ thống xe điện.	6
Hình 2.3 Sơ đồ ứng dụng bộ chuyển đổi DC-DC trong lưu trữ năng lượng.	7
Hình 2.4. Sơ đồ cấu trúc boost.	8
Hình 2.5 Đặc tính giữa tỷ lệ chuyển đổi và hiệu suất.	8
Hình 2.6 Cấu trúc bộ chuyển đổi flyback.	9
Hình 2.7 Cấu trúc bộ boost xếp chồng	10
Hình 2.8 Cấu trúc bộ tăng áp bậc hai	10
Hình 2.9 Mạch nhân áp.	11
Hình 2.10 Cấu trúc tăng áp đã được công bố [7].	11
Hình 2.11 Cấu trúc tăng áp đã được công bố [8]	12
Hình 2.12 Cấu trúc tăng áp đã được công bố [9]	13
Hình 2.13 Cấu trúc tăng áp đã được công bố [10]	13
Hình 3.1 Sơ đồ nguyên lý của bộ chuyển đổi.	15
Hình 3.2. Biểu đồ dạng sóng của cấu trúc tăng áp được đề xuất.	16
Hình 3.3. Sơ đồ nguyên lý của mạch tương đương trong mode 1.	16
Hình 3.4. Sơ đồ nguyên lý của mạch tương đương trong mode 2.	17
Hình 3.5. Sơ đồ nguyên lý của mạch tương đương trong mode 3.	17
Hình 3.6. Sơ đồ nguyên lý của mạch tương đương trong mode 4.	18
Hình 4.1. Mối quan hệ giữa D và M ứng với các giá trị của $n = 1.5, 2, 2.5, 3$	23
Hình 4.2 Hình ảnh mô phỏng sơ đồ nguyên lý của bộ chuyển đổi.	25
Hình 4.3 Hình ảnh kết quả mô phỏng dạng sóng v_{gs} và điện áp trên MOSFET.	25
Hình 4.4 (a) Đồ thị tín hiệu điều khiển v_{gs} , i_{in} , i_{lk} & i_{Lm} , i_{D1} , i_{D2} ; (b) Đồ thị tín hiệu điều khiển v_{gs} , dòng điện i_o , i_{D3-D5}	26
Hình 4.5 Đồ thị kết quả mô phỏng với $V_{in}=24V$, $V_o=400V$	26
Hình 4.6. Sơ đồ PBC layout thiết kế của mạch.	27
Hình 4.7. Phân cứng của cấu trúc đề xuất.	28
Hình 4.8 Đồ thị v_{gs} và v_{ds} (a); Đồ thị i_{in} và i_{Lk} (b)	28
Hình 4.9 Đồ thị điện áp $V_{in}=24V$, $V_o=400V$	28
Hình 4.10 Đồ thị đường cong điện áp so sánh trong Bảng 4.3.	30
Hình 4.11 Đồ thị đường cong so sánh điện áp ngược trong Bảng 4.3	30
Hình 4.12 Tổn thất công suất ở mức $PO = 300W$	32

DANH MỤC BẢNG

Bảng 4.1 Các yêu cầu kỹ thuật cần đạt của bộ chuyển đổi.	23
Bảng 4.2 Điện áp ngược rơi trên các linh kiện thông qua công thức tính toán	24
Bảng 4.3 Tổng hợp các thông số kỹ thuật của bộ chuyển đổi	24
Bảng 4.4 Thông số các linh kiện của bộ chuyển đổi.....	27
Bảng 4.5 Bảng so sánh với các cấu trúc đã đề xuất.	29
Bảng 4.6 Tổn thất trên linh kiện.....	32

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

AC - Alternating Current: Dòng điện xoay chiều.

DC - Direct Current: Dòng điện một chiều.

EV – Electric Vehicle: Xe điện.

PV – Photovoltaic: Pin quang điện.

EMI – Electromagnetic Interference: Nhiễu điện từ.

PWM – Pulse Width Modulation: Điều chế độ rộng xung

CCM – Continuous Conduction Mode: chế độ dẫn liên tục

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Trong bối cảnh toàn cầu đẩy mạnh phát triển năng lượng xanh, các hệ thống chuyển đổi DC-DC tăng áp cao đang trở thành thành phần then chốt trong các ứng dụng năng lượng tái tạo và giao thông điện. Điện mặt trời, pin nhiên liệu và hệ thống lưu trữ năng lượng thường tạo ra điện áp thấp, đòi hỏi các bộ chuyển đổi có khả năng nâng điện áp hiệu quả để kết nối với lưới điện hoặc tải công suất lớn.

Các bộ tăng áp truyền thống bộc lộ nhiều hạn chế khi yêu cầu hệ số tăng áp lớn. Mặc dù giải pháp sử dụng cuộn cảm ghép giúp cải thiện đáng kể hệ số tăng áp, nhưng lại phát sinh các vấn đề mới về tổn hao năng lượng, kích thước công kênh và ứng suất điện áp trên các linh kiện chính. Các phương pháp hiện đại như bộ biến đổi cascade hay cấu trúc stacked mang lại hiệu quả nhất định nhưng đồng thời làm tăng độ phức tạp của hệ thống và chi phí triển khai.

Bài toán đặt ra là cần phát triển các cấu trúc chuyển đổi mới có khả năng đáp ứng đồng thời các yêu cầu: hệ số tăng áp cao, hiệu suất chuyển đổi tối ưu, kích thước nhỏ gọn. Nghiên cứu này tập trung phân tích các ưu nhược điểm của các phương pháp hiện có, từ đó đề xuất giải pháp cải tiến nhằm khắc phục những hạn chế còn tồn tại.

2. Mục tiêu

Mục tiêu nghiên cứu của đề tài "*Nghiên cứu và thiết kế bộ chuyển đổi DC-DC có hệ số khuếch đại điện áp cao*" thiết kế một bộ chuyển đổi DC-DC mới với hệ số khuếch đại điện áp cao trong khi điện áp ngược trên mosfet thấp, đồng thời giải quyết vấn đề khi kết hợp với cuộn cảm ghép. Năng lượng rò rỉ trên cuộn cảm sẽ được lưu trữ và tái sử dụng từ đó gia tăng hiệu suất tổng thể của mạch. Ngoài ra mạch phải hoạt động ổn định để có thể ứng dụng vào các nhu cầu đòi hỏi nguồn năng lượng ổn định, phù hợp với xu hướng các nguồn năng lượng tái tạo ngày càng phát triển.

3. Bố cục của đề tài

Bố cục của đề tài ngoài phần lời mở đầu và kết luận chung, nội dung của đề tài được chia thành 4 chương như sau:

Chương 1: Giới thiệu

Chương 2: Nhu cầu bộ chuyển đổi DC-DC, các kỹ thuật khuếch đại điện áp

Chương 3: Đề xuất bộ chuyển đổi DC-DC mới

Chương 4: Mô phỏng & thực nghiệm.

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU

1.1. Lý do chọn đề tài

Trong bối cảnh hiện nay, sự phát triển mạnh mẽ của các ngành công nghiệp hiện đại như năng lượng tái tạo, điện tử công suất, xe điện, tự động hóa và thiết bị di động đã làm gia tăng nhu cầu sử dụng các nguồn cấp điện một chiều (DC) có hiệu suất cao, điện áp linh hoạt và kích thước nhỏ gọn. Các bộ chuyển đổi DC-DC giữ vai trò then chốt trong việc chuyển đổi mức điện áp phù hợp giữa nguồn và tải, giúp hệ thống hoạt động ổn định và tiết kiệm năng lượng.

Trong đó, các bộ chuyển đổi tăng áp (boost converter) được sử dụng rộng rãi nhờ khả năng nâng điện áp từ mức thấp (thường đến từ các nguồn như pin, năng lượng mặt trời) lên mức điện áp cao hơn để phục vụ cho các tải yêu cầu công suất lớn hoặc kết nối lưới. Tuy nhiên, các bộ boost truyền thống đang bộc lộ nhiều hạn chế, nhất là khi ứng dụng vào các hệ thống hiện đại có yêu cầu khắt khe về hiệu suất, độ tin cậy và khả năng tăng áp cao.

Một số vấn đề thực tiễn đặt ra đối với bộ chuyển đổi DC-DC tăng áp:

Trong hệ thống năng lượng mặt trời: Điện áp từ tấm pin thường dao động từ 20–50V tùy thời tiết, trong khi bộ inverter hoặc pin lưu trữ yêu cầu 100–400V DC.

Trong hệ thống lưu trữ năng lượng: Nguồn từ pin lithium hoặc siêu tụ thường ở mức 12V–48V, cần được nâng lên để cấp cho bộ biến tần hoặc tải công suất lớn. Các bộ chuyển đổi cần hoạt động ổn định trong thời gian dài, tần số cao, tổn thất thấp.

Trong hệ thống xe điện, tàu điện: Mức điện áp cung cấp cho xe điện ô tô thông thường từ 300-800V, các cấu trúc tăng áp thông thường gặp nhiều hạn chế trong việc chuyển đổi, ngoài ra hiệu suất chuyển đổi cũng là một vấn đề lớn cần phải giải quyết

Hạn chế chính của bộ boost truyền thống:

Hệ số tăng áp giới hạn, đặc biệt khi duty cycle tiệm cận 1 ($\rightarrow$ tổn hao tăng, điều khiển khó khăn).

Không hiệu quả khi điện áp nguồn quá thấp hoặc điện áp đầu ra cần rất cao.

Chính vì vậy, việc nghiên cứu và phát triển các cấu trúc tăng áp cải tiến, có khả năng chuyển đổi điện áp cao, hiệu suất cao đang là xu hướng cần thiết ứng dụng trong các nguồn năng lượng tái tạo

Trong số các giải pháp được nghiên cứu, việc kết hợp với cuộn cảm ghép mang lại lợi thế rõ rệt về tỷ lệ chuyển đổi điện áp. Đồng thời, việc tích hợp các kỹ thuật tăng áp phù hợp giúp tối ưu hóa khả năng khuếch đại điện áp đầu ra mà vẫn đảm bảo tính hiệu quả của hệ thống.

Các mục tiêu chính trong thiết kế bao gồm:

Đạt được tỷ lệ chuyển đổi điện áp cao mà không cần sử dụng chu kỳ hoạt động quá lớn cho MOSFET.

Sử dụng số lượng MOSFET tối thiểu nhằm đơn giản hóa cấu trúc và hệ thống điều khiển.

Đảm bảo độ ổn định trong quá trình hoạt động của mạch.

Nâng cao hiệu suất chuyển đổi tổng thể.

Với những yêu cầu và định hướng như trên, đề tài “*Nghiên cứu và thiết kế bộ chuyển đổi DC-DC có hệ số khuếch đại điện áp cao*” là hoàn toàn cần thiết. Đề tài không chỉ mang ý nghĩa học thuật mà còn có giá trị thực tiễn cao, phù hợp với xu hướng phát triển của các hệ thống điện tử công suất hiện đại, đặc biệt là trong bối cảnh nhu cầu về nguồn năng lượng tái tạo ngày càng tăng.

1.2. Mục tiêu nghiên cứu.

Đề tài được thực hiện nhằm nghiên cứu và phát triển một bộ chuyển đổi DC-DC tăng áp có hệ số khuếch đại cao, cấu trúc đơn giản và hiệu suất vượt trội, đáp ứng yêu cầu thực tế trong các ứng dụng năng lượng tái tạo và nguồn di động hiện đại. Các mục tiêu cụ thể của đề tài được xác định như sau:

- *Nghiên cứu tổng quan và phân tích đánh giá các bộ chuyển đổi DC-DC :*
 - Phân tích các cấu trúc DC-DC tăng áp cơ bản và các kỹ thuật tăng áp.
 - Phân tích ưu điểm, nhược điểm, hiệu suất hoạt động, độ phức tạp, số lượng linh kiện và khả năng mở rộng
 - Tổng hợp và đánh giá các kỹ thuật chuyển đổi hiện đại đang được áp dụng.
- *Đề xuất và phát triển một cấu trúc tăng áp mới:*
 - Thiết kế một cấu trúc mạch mới nhằm đạt hệ số khuếch đại điện áp cao vượt trội
 - Giảm điện áp ngược trên mosfet
 - Hiệu suất chuyển đổi cao

- Giảm thiểu số lượng linh kiện, phù hợp với ứng dụng trong các hệ thống năng lượng tái tạo
- *Phân tích nguyên lý hoạt động chi tiết của cấu trúc mới:*
 - Phân tích nguyên lý hoạt động của mạch qua từng chu kỳ chuyển mạch. Mô tả các trạng thái chuyển mạch trong một chu kỳ hoạt động: ON – OFF, các chu kỳ nạp – xả, phân tích vai trò của từng linh kiện.
 - Làm rõ cách thức tái sử dụng năng lượng rò rỉ của cuộn cảm ghép – một vấn đề cố hữu của cuộn cảm ghép.
 - Giải thích vì sao cấu trúc đạt được hệ số khuếch đại cao
- *Thiết lập phương trình và công thức tính toán linh kiện:*
 - Xây dựng các công thức thiết kế cho tụ điện, cuộn cảm, cuộn cảm ghép, công tắc (MOSFET) và diode tương ứng với các thông số yêu cầu về công suất và điện áp.
- *Mô phỏng kiểm chứng:*
 - Tiến hành mô phỏng mạch bằng phần mềm chuyên dụng.
 - Xác minh lại các kết quả lý thuyết: hệ số tăng áp, dòng điện, điện áp, và hiệu suất hoạt động.
- *Thiết kế và chế tạo mạch thực nghiệm:*
 - Thực hiện thiết kế và chế tạo bộ chuyển đổi DC-DC dựa trên cấu trúc mới đề xuất.
 - Đo đạc các thông số thực tế: điện áp ra, dòng tải và hiệu suất toàn mạch.
 - So sánh kết quả đo với mô phỏng và lý thuyết để đánh giá độ chính xác và tính khả thi.
- *Kết luận và đề xuất hướng phát triển tiếp theo:*
 - Định hướng: phát triển mạch hồi tiếp (Close loop) sử dụng các IC điều chế độ rộng xung PWM kèm mạch điều khiển để điều khiển ổn định điện áp đầu ra với các cấp tải khác nhau cũng như đối với môi trường điện áp đầu vào bị dao động.

1.3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu.

1.3.1. Đối tượng.

Đề tài tập trung vào các bộ chuyển đổi tăng áp DC-DC, là một trong những cấu trúc giữ vai trò trung gian quan trọng trong quá trình điều chỉnh và khuếch đại mức điện

áp giữa nguồn DC có điện áp thấp với BUS tải DC có điện áp cao trong các hệ thống năng lượng tái tạo.

1.3.2. Phạm vi nghiên cứu.

Chỉ tập trung vào cấu trúc mạch lực (cách thức tăng áp, điểm mới, ...).

Phân tích trạng thái hoạt động của mạch, nguyên lý đạt được tỷ lệ chuyển đổi điện áp cao, điện áp ngược trên mosfet và khả năng ứng dụng trong các ứng dụng năng lượng tái tạo.

Kiểm chứng kết quả phân tích bằng phần mềm mô phỏng SIMETrix-SIMPLIS, ngoài ra còn thiết kế phần cứng để khẳng định khả năng ứng dụng thực tế

1.4. Phương pháp nghiên cứu.

Phân tích lý thuyết: Áp dụng các định luật mạch điện (Kirchhoff, bảo toàn năng lượng) và phương pháp cân bằng điện áp trên cuộn cảm để phân tích lý thuyết hoạt động của mạch

Mô phỏng: Từ lý thuyết ta lựa chọn các thông số phù hợp và dùng phần mềm mô phỏng để kiểm chứng phân tích lý thuyết, từ trên cơ sở đó đưa ra phương án thiết kế phần cứng

Thực nghiệm: Trên cơ sở lý thuyết và mô phỏng tiên hành lựa chọn các linh kiện thực tế, tiếp theo là thiết kế PCB mạch điện, hoàn thiện phần cứng, dùng đồng hồ vạn năng, dao động ký - oscilloscope, kết nối mạch với tải, nguồn DC đầu vào, tiến hành đo đạc lấy các thông số rồi qua lại kiểm chứng với mô phỏng và lý thuyết.

1.5. Cấu trúc đồ án.

Đồ án được chia thành 5 chương với 3 chương chính.

Chương 2: phân tích các nhu cầu sử dụng bộ tăng áp DC-DC trong ứng dụng năng lượng tái tạo. Các vấn đề bộ chuyển đổi tăng áp gặp phải, các kỹ thuật tăng áp. Phân tích một số cấu trúc đã được đề xuất trên các tạp chí.

Chương 3 trình bày nguyên lý hoạt động, các trạng thái làm việc của mạch, đồng thời phân tích điện áp ngược đặt lên các linh kiện để lựa chọn linh kiện phù hợp cho thiết kế.

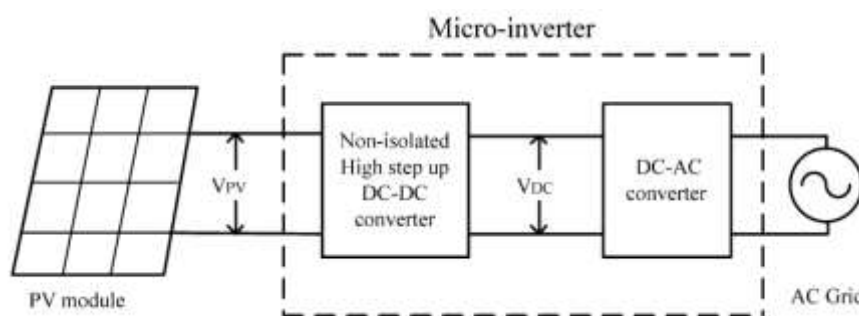
Chương 4 thực hiện mô phỏng cấu trúc trên phần mềm SIMETrix/SIMPLIS và triển khai thiết kế phần cứng với công suất đầu ra 300W. Hiệu suất mạch và tổn hao công suất cũng được phân tích nhằm đánh giá tính khả thi và hiệu quả của cấu trúc đề xuất.

CHƯƠNG 2. NHU CẦU BỘ CHUYỂN ĐỔI DC-DC, CÁC KỸ THUẬT KHUẾCH ĐẠI ĐIỆN ÁP.

2.1. Nhu cầu, ứng dụng các bộ chuyển đổi điện áp DC-DC ngày nay.

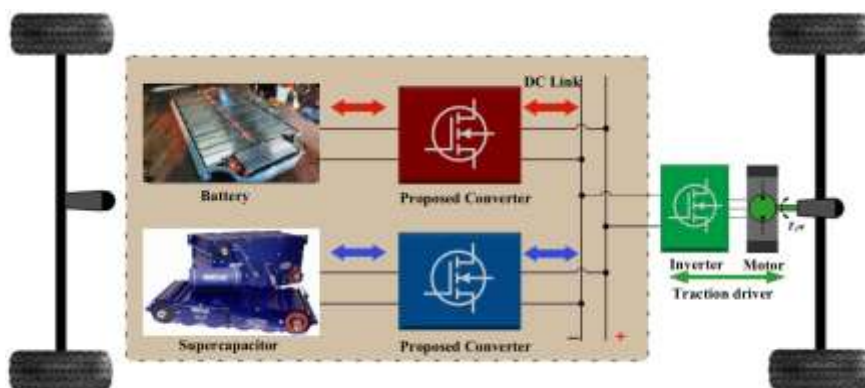
Bộ chuyển đổi DC-DC đóng vai trò thiết yếu trong việc điều chỉnh điện áp một chiều để phù hợp với yêu cầu của các thiết bị điện và điện tử. Các ứng dụng tiêu biểu bao gồm:

Hệ thống năng lượng tái tạo: Trong các hệ thống pin mặt trời (PV) hoặc pin nhiên liệu (FC), bộ chuyển đổi DC-DC được sử dụng để nâng hoặc hạ điện áp nhằm phù hợp với yêu cầu của tải hoặc để kết nối với lưới điện thông qua bộ nghịch lưu. Các bộ chuyển đổi này giúp tối ưu hóa hiệu suất hệ thống và cải thiện khả năng điều khiển công suất đầu ra [1].



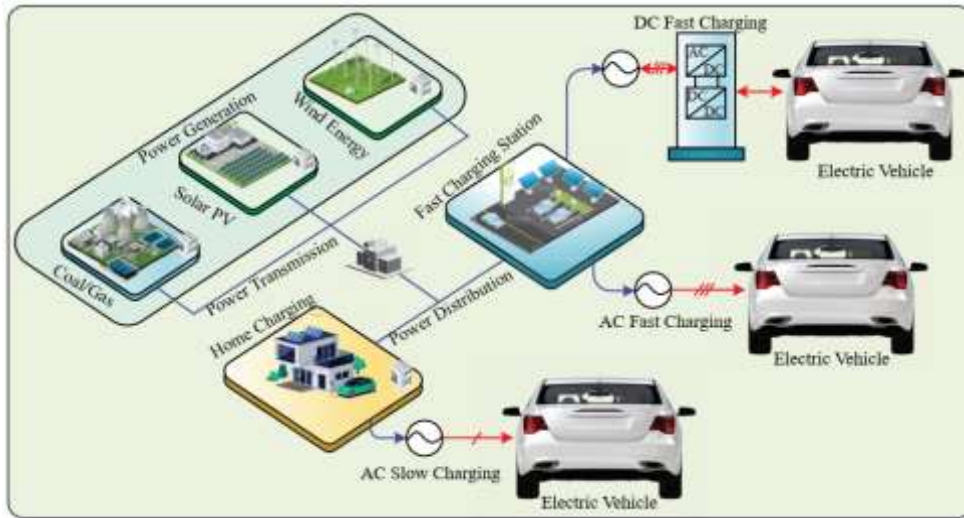
Hình 2.1 Sơ đồ ứng dụng bộ chuyển đổi DC-DC trong hệ thống pin mặt trời.

Ô tô điện và thiết bị di động: Trong xe điện, bộ DC-DC năng lượng từ pin để cung cấp cho hệ thống chiếu sáng, điều khiển, giải trí,... Tương tự, trong các thiết bị cầm tay, chúng được sử dụng để kéo dài thời lượng pin và đảm bảo hoạt động ổn định [2].



Hình 2.2 Sơ đồ ứng dụng bộ chuyển đổi DC-DC trong hệ thống xe điện.

Hệ thống lưu trữ năng lượng: Trong các hệ thống sử dụng pin lithium hoặc siêu tụ điện, bộ DC-DC quản lý việc sạc và xả nhằm kéo dài tuổi thọ pin và nâng cao hiệu suất tổng thể [3].



Hình 2.3 Sơ đồ ứng dụng bộ chuyển đổi DC-DC trong lưu trữ năng lượng.

2.2. Các cấu trúc chuyển đổi điện áp cổ điển.

Trong lĩnh vực điện tử công suất và truyền thông, các bộ chuyển đổi DC-DC đóng vai trò quan trọng trong việc ổn định và điều chỉnh điện áp để đáp ứng yêu cầu của các thiết bị điện tử. Trong đó, Boost converter được sử dụng phổ biến để nâng điện áp đầu vào lên mức cao hơn đầu ra [4], với sơ đồ cấu trúc minh họa tại Hình 2.4.

Bên cạnh đó, các cấu trúc tiên tiến như cấu trúc tăng áp bậc 2, cấu trúc xếp tầng và cuộn cảm ghép được ứng dụng rộng rãi nhằm nâng cao quả chuyển đổi.

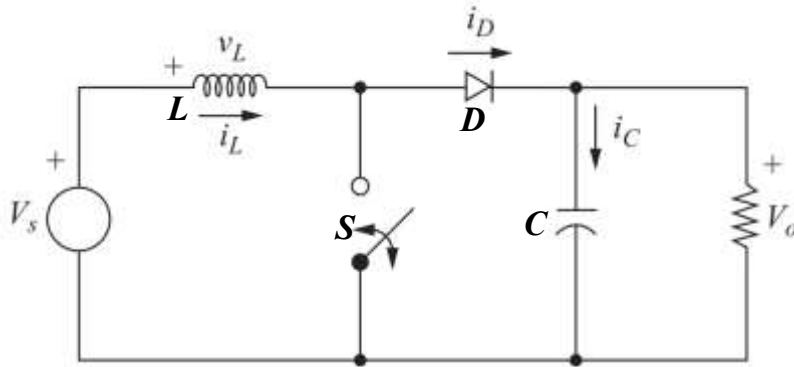
Cấu trúc tăng áp bậc 2 sử dụng các tầng ghép nối để tạo ra đặc tính chuyển đổi bậc hai, giúp mở rộng dải điện áp đầu ra [5].

Cấu trúc xếp chồng [6] cho phép đạt tỷ lệ chuyển đổi điện áp cao thông qua việc kết nối nhiều tầng chuyển đổi.

Ngoài ra, còn có các kỹ thuật tăng áp bằng tụ điện hay sử dụng các kỹ thuật tăng áp kết hợp để cải thiện mức điện áp đầu ra.

Những cải tiến trong thiết kế mạch chuyển đổi DC-DC không chỉ nâng cao hiệu suất mà còn góp phần phát triển các hệ thống điện tử công suất hiện đại, đáp ứng yêu cầu ngày càng khắt khe về tiết kiệm năng lượng và độ ổn định.

2.2.1. Bộ chuyển đổi Boost.

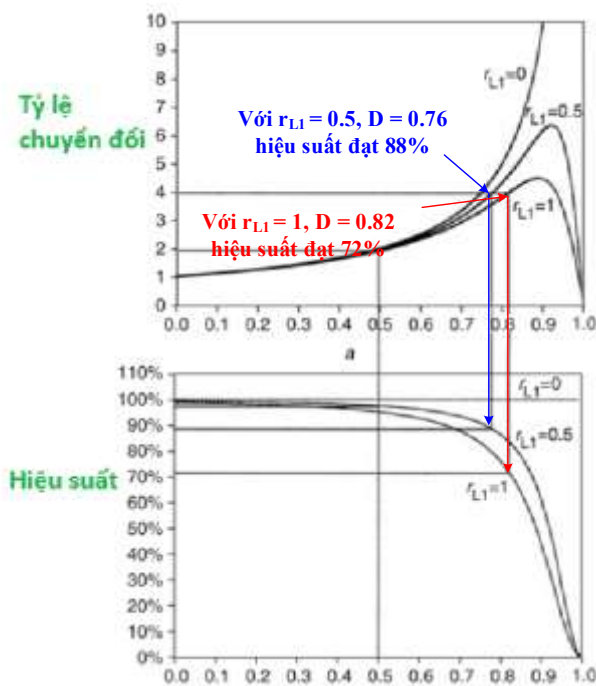


Hình 2.4. Sơ đồ cấu trúc boost.

Cấu trúc boost giúp chuyển đổi điện áp đầu ra cao hơn điện áp đầu vào, sơ đồ cấu trúc được trình bày tại Hình 2.4. Bộ chuyển đổi có điện áp đầu ra V_o luôn cao hơn điện áp đầu vào V_s . Điện áp này được điều chỉnh qua tín hiệu PWM, thay đổi trạng thái công tắc (BẬT/TẮT) theo chu kỳ T và tỷ lệ chu kỳ D . Mức điện áp chuyển đổi phụ thuộc vào điện áp đầu vào và tỷ lệ chu kỳ. Tỷ lệ chuyển đổi điện áp của cấu trúc:

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (1)$$

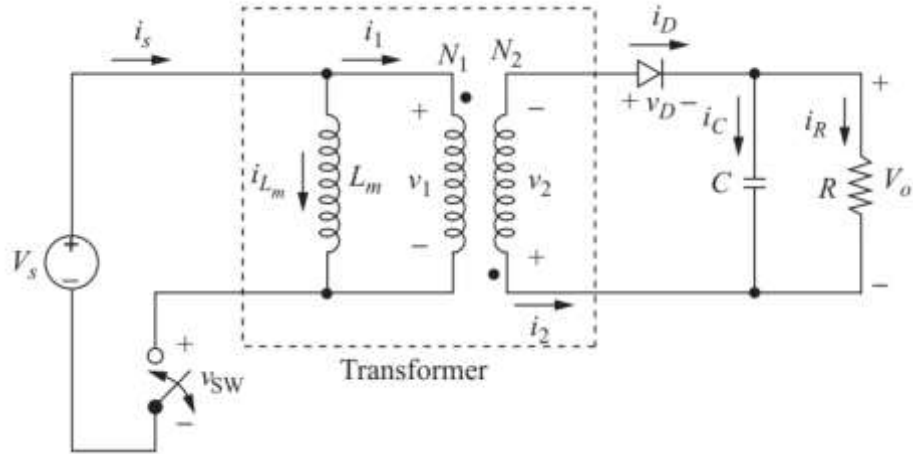
Theo lý thuyết với công thức (1) mức tăng áp đạt được có thể tăng đến vô hạn khi $D \rightarrow 1$, nhưng trong thực tế các thành phần điện trở ký sinh làm cho hiệu suất giảm mạnh sơ đồ phân tích sự phụ thuộc giữa D và hiệu suất được trình bày tại Hình 2.5.



Hình 2.5 Đặc tính giữa tỷ lệ chuyển đổi và hiệu suất

Từ Hình 2.5 có thể thấy chỉ với điện trở kí sinh trên cuộn cảm $L_1 = 1R$ khi $D=0.82$ thì hiệu suất giảm rõ rệt (72%) và khi càng tăng D thì hiệu suất sẽ giảm mạnh.

2.2.2. Bộ chuyển đổi flyback.



Hình 2.6 Cấu trúc bộ chuyển đổi flyback.

Để đạt được mức tăng áp cao hơn trong cùng giá trị D việc kết hợp với cuộn cảm ghép là một giải pháp được đề ra, với các ưu điểm vượt trội so với cấu trúc tăng áp boost, như giảm ứng suất điện áp trên mosfet, mức điện áp cao (4). Tuy nhiên, vấn đề kèm theo khi kết hợp cuộn cảm ghép là điện cảm rò sinh ra trong quá trình chuyển mạch là cho hiệu suất tổng thể giảm mạnh, đồng thời cũng là nguyên nhân khiến cho mức điện áp ngược trên mosfet tăng vọt vì năng lượng rò rỉ.

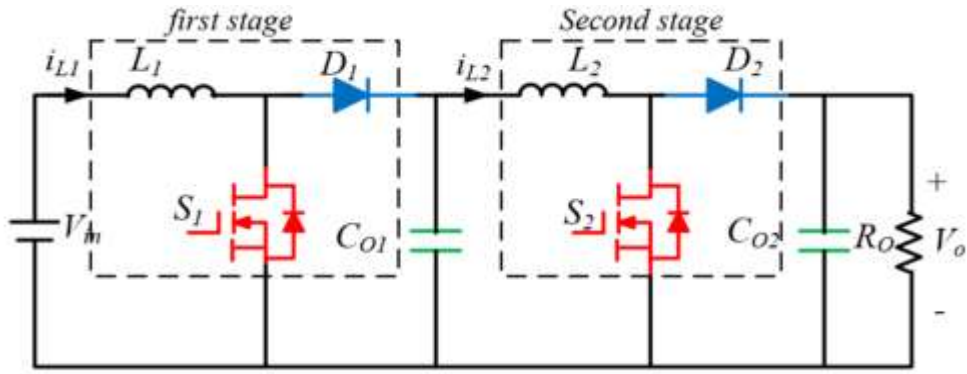
$$\text{Tỷ lệ chuyển đổi điện áp: } V_o = \frac{nDV_s}{1-D} \quad \text{Với } n = \frac{N_2}{N_1} \quad (4)$$

2.3. Các kỹ thuật tăng áp.

Để khắc đạt được mức tăng áp cao hơn các mạch chuyển đổi điện áp cổ điển, các kỹ thuật như cấu trúc xếp chồng và tăng áp bậc hai cấu được đề xuất. Ngoài ra, việc kết hợp với mạch nhân áp giúp đạt được mức tăng áp cao hơn mà không cần chu kỳ làm việc quá lớn.

2.3.1. Cấu trúc Boost xếp chồng

Cấu trúc này ghép hai bộ boost với nhau để đạt được mức tăng điện áp cao hơn. Sử dụng cấu trúc xếp chồng này có thể cải thiện tỷ lệ chuyển đổi của cấu trúc boost lên đáng kể. Kết nối điện áp ra của bộ boost đầu tiên với điện áp vào của bộ boost thứ hai, vì vậy điện áp đầu ra phụ thuộc vào điện áp trên tụ C_{o1} .

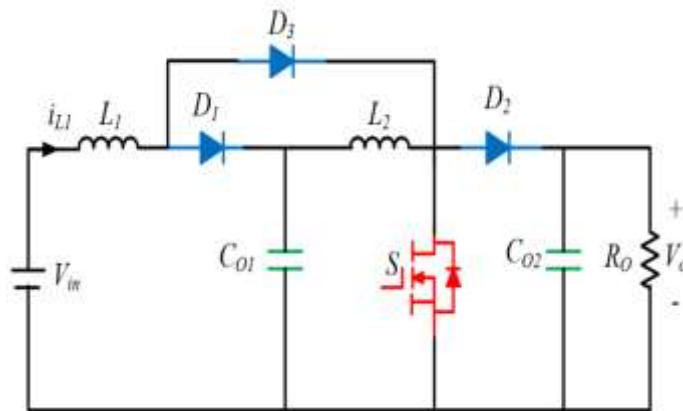


Hình 2.7 Cấu trúc bộ boost xếp chồng

Tuy nhiên đối với cấu trúc này, giai đoạn thứ hai chịu ứng suất điện áp tương đương với điện áp đầu ra, và tổn thất hồi phục ngược của diode đầu ra có thể cao trong các ứng dụng công suất cao. Một nhược điểm lớn khác là năng lượng được chuyển đổi hai lần, ảnh hưởng đến hiệu suất tổng thể. Ngoài ra, sự tương tác giữa các bộ chuyển đổi boost riêng lẻ có thể gây mất ổn định.

2.3.2. Cấu trúc Boost bậc hai.

Bộ chuyển đổi bậc hai (quadratic converter) khắc phục mất ổn định của kết nối cascade bằng cách thay công tắc S_1 bằng diode D_3

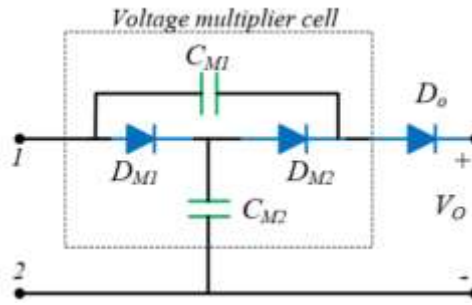


Hình 2.8 Cấu trúc bộ tăng áp bậc hai

Cấu trúc này hoạt động như hai bộ boost nối tiếp với một công tắc duy nhất, đạt tỷ lệ chuyển đổi lớn mà không cần tỷ lệ chu kỳ cao. Tuy nhiên mức điện áp đầu ra C_{o2} tỷ lệ với điện áp ngược trên mosfet S khiến cho các ứng dụng điện áp đầu ra cao kéo theo điện áp ngược trên mosfet cao làm giảm tuổi thọ cũng như thời gian sống của linh kiện.

2.3.3. Mạch nhân áp.

Mạch nhân áp (voltage multiplier cell) là một ứng dụng cổ điển của việc truyền tải điện tích qua tụ, tạo ra điện áp đầu ra cao hơn điện áp đầu vào mà không cần sử dụng linh kiện từ tính.



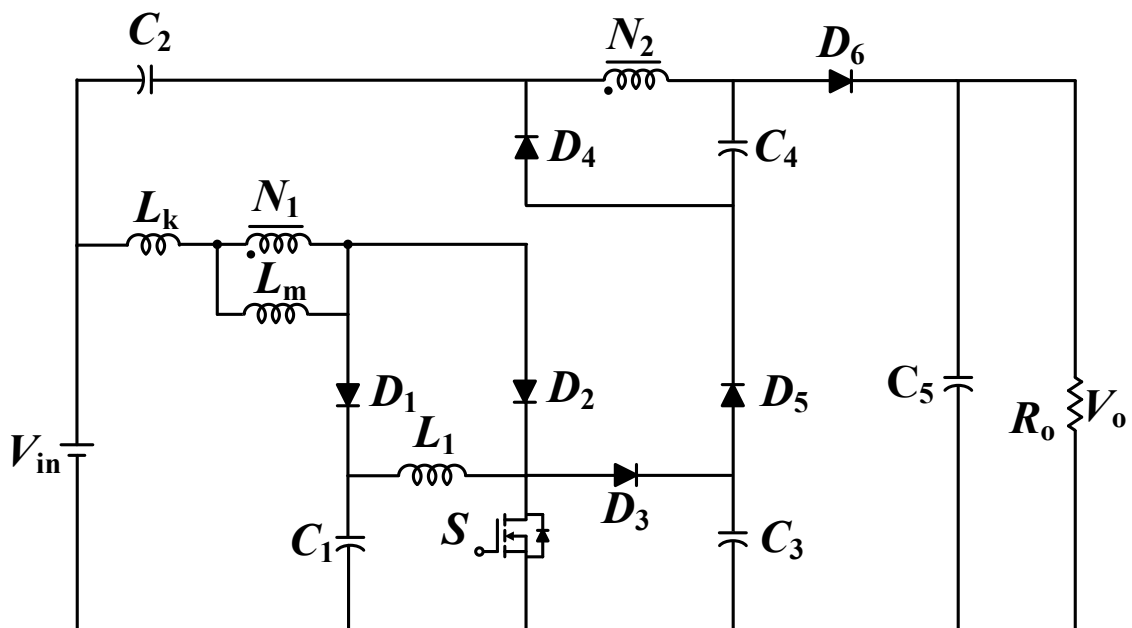
Hình 2.9 Mạch nhân áp

Tuy có thể đạt được mức tăng áp cao nhờ cấu trúc nhân áp, nhưng nhược điểm đi kèm là số lượng linh kiện tăng cao, khiến cho tổn thất trên linh kiện tăng cũng như chi phí thiết kế tăng cao

2.4. Các cấu trúc tăng áp đã công bố.

2.4.1. Cấu trúc 1

Cấu trúc tăng áp đăng tại tạp chí “*International Journal of Circuit Theory and Applications*”-2022



Hình 2.10 Cấu trúc tăng áp đã được công bố [7].

Cấu trúc bao gồm 6 diode, 1 cuộn cảm ,1 cuộn cảm ghép, 5 tụ điện và 1 công tắc đơn. Tuy đã đạt được mức tăng áp cao (5) trong khi vẫn giữ điện áp ngược trên mosfet thấp() nhưng vẫn còn có khả năng tăng áp hơn nữa với số lượng linh kiện như trên

Tỷ lệ tăng áp chuyển đổi:

$$V_{out} = \frac{1 + n - nD^2}{(1 - D)^2} V_{in} \quad (5)$$

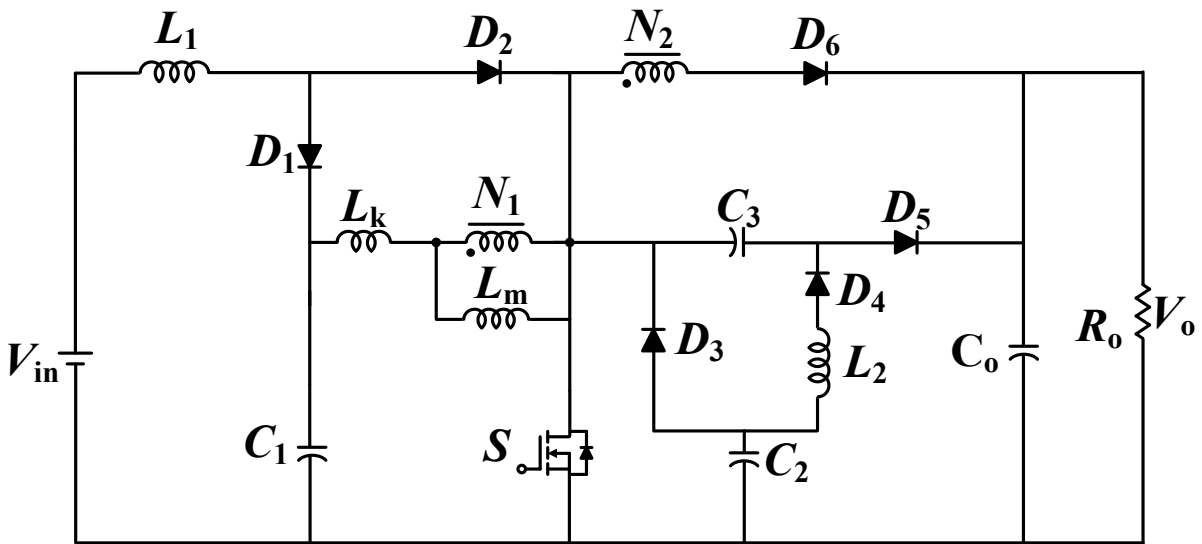
Điện áp ngược trên mosfet :

$$V_s = \frac{1}{1 + n - nD^2} V_{out} \quad (6)$$

2.4.2. Cấu trúc 2.

Cấu trúc tăng áp đã đăng tại tạp chí “*IEEE Transactions on Industrial Electronic*”-2018

Cấu trúc này bao gồm 6 diode, 2 cuộn cảm, 1 cuộn cảm ghép, 4 tụ điện và 1 công tắc đơn. Mặc dù đạt được tỷ lệ chuyển đổi điện áp cao, nhưng trong một số ứng dụng, mức tăng áp vẫn chưa đáp ứng yêu cầu. Bên cạnh đó, việc sử dụng đến 3 lõi từ làm gia tăng chi phí thiết kế.



Hình 2.11 Cấu trúc tăng áp đã được công bố [8]

Tỷ lệ tăng áp chuyển đổi:

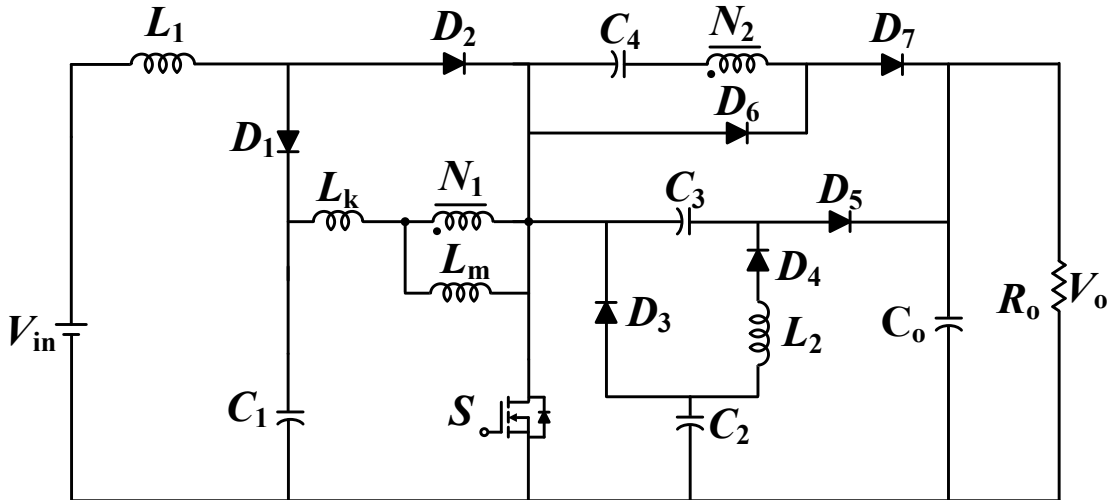
$$V_{out} = \frac{1 + nD}{(1 - D)^2} V_{in} \quad (7)$$

Điện áp ngược trên mosfet :

$$V_s = \frac{1}{1 + nD} V_{out} \quad (8)$$

2.4.3. Cấu trúc 3

Đăng tại “*Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference*”-2021
 Hồ Xuân Khánh – Phạm Dương Thạch GVHD: TS. Trần Thái Anh Âu 12



Hình 2.12 Cấu trúc tăng áp đã được công bố [9]

Cấu trúc sử dụng 7 diode, 1 cuộn cảm ,1 cuộn cảm ghép, 5 tụ điện và 1 công tắc đơn, Số lượng linh kiện nhiều là nhược điểm khi thiết kế tuy hệ số khuếch đại đạt được cao nhưng vẫn còn có thể đạt được tỷ lệ khuếch đại cao hơn trong khi số lượng linh kiện ít hơn nữa.

Tỷ lệ tăng áp chuyển đổi:

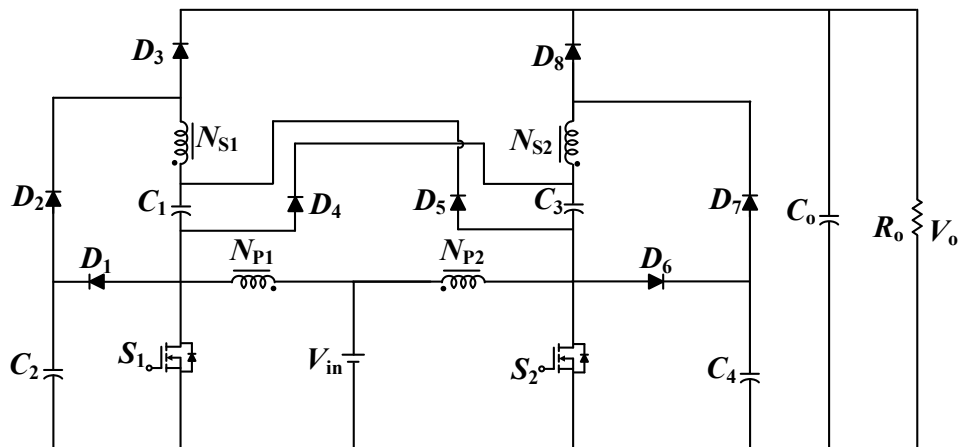
$$V_{out} = \frac{1+n}{(1-D)^2} V_{in} \quad (9)$$

Điện áp ngược trên mosfet :

$$V_S = \frac{1}{2} V_{out} \quad (10)$$

2.4.4. Cấu trúc 4

Đăng tại ““ IEEE Transactions on Industrial Electronic”-2017



Hình 2.13 Cấu trúc tăng áp đã được công bố [10]

Cấu trúc này sử dụng 8 diode, 2 cuộn cảm ghép, 5 tụ điện và 2 công tắc. Số lượng linh kiện lớn làm tăng chi phí thiết kế, đồng thời việc sử dụng hai MOSFET cũng góp phần làm cho hệ thống trở nên phức tạp hơn trong khâu điều khiển và bố trí mạch.

Tỷ lệ tăng áp chuyển đổi:

$$V_{\text{out}} = \frac{2 + nD}{1 - D} V_{\text{in}} \quad (11)$$

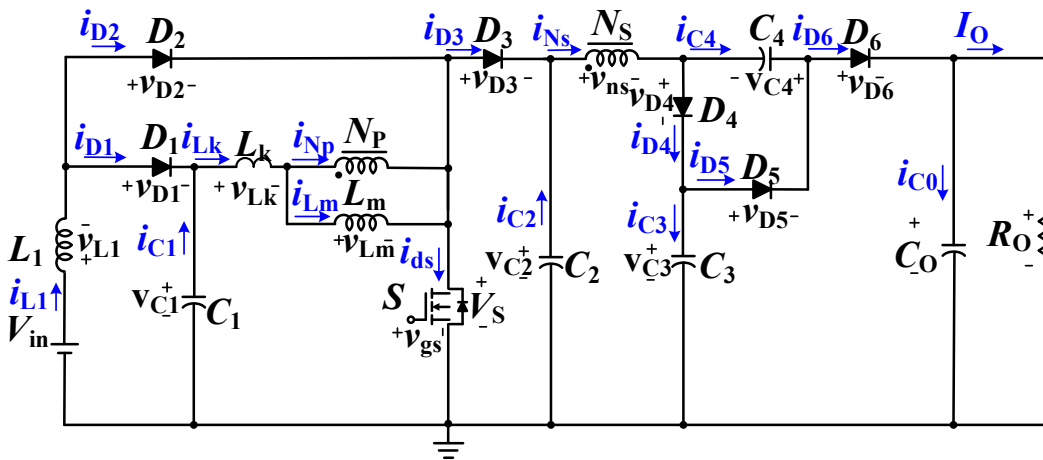
Điện áp ngược trên mosfet :

$$V_s = \frac{1}{2 + nD} V_{\text{out}} \quad (12)$$

CHƯƠNG 3. ĐỀ XUẤT BỘ CHUYỂN ĐỔI DC-DC MỚI

3.1. Giới thiệu cấu trúc bộ chuyển đổi mới.

Trong cấu trúc được đề xuất, các mối quan hệ giữa dòng điện và điện áp được phân tích chi tiết ở chế độ dòng điện liên tục (CCM). Đây là một chế độ vận hành ổn định, đảm bảo dòng điện không bị gián đoạn, giúp cải thiện hiệu suất và độ tin cậy của mạch. Nhờ đó, cấu trúc này trở thành một giải pháp lý tưởng cho các ứng dụng năng lượng tái tạo. Những ứng dụng này đòi hỏi các bộ chuyển đổi có hiệu suất cao, hoạt động ổn định và khả năng tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng. Cấu trúc sử dụng 1 mosfet (S_1), 6 diode ($D_{1\sim5}$ và D_0), 1 cuộn cảm (L_1) đóng góp vai trò khuếch đại điện áp và đồng thời giúp ổn định dòng điện đầu vào góp phần tăng tính ổn định khi hoạt động của mạch, kết hợp với cuộn cảm ghép để đạt được hệ số khuếch đại điện áp cao. Ngoài ra điện áp ngược trên mosfet của mạch được giới hạn ở mức tối thiểu ($v_{ds} = V_{C2}$) vì được giữ bởi mạch kẹp điện áp gồm D_3 và C_2 sau đó năng lượng rò sẽ được giải phóng đến tải góp phần gia tăng hiệu suất của mạch.



Hình 3.1 Sơ đồ nguyên lý của bộ chuyển đổi.

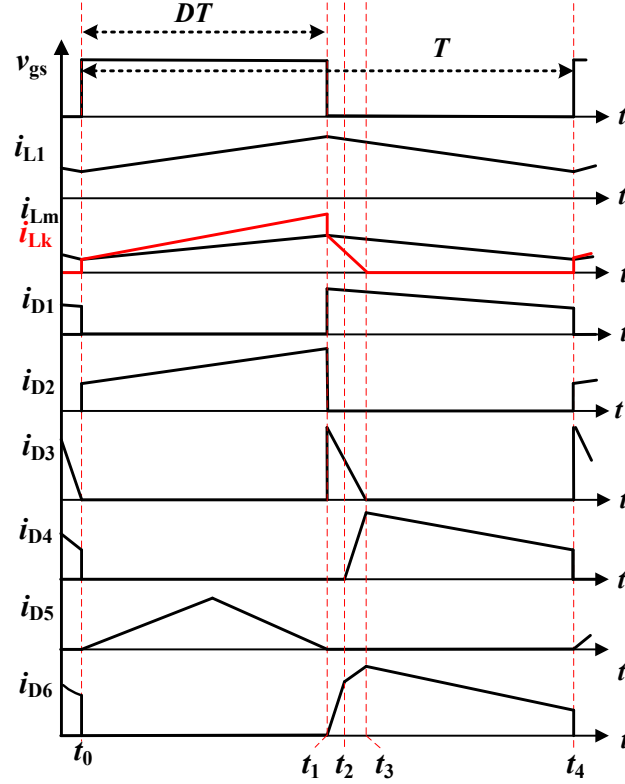
3.2. Nguyên lý hoạt động theo các chế độ chuyển mạch.

Giả định tất cả các thiết bị công suất đều lý tưởng, và điện trở khi bật (ON-resistance) và điện áp dẫn hướng (forward conduction voltage) được bỏ qua.

Tất cả các tụ điện đủ lớn để đảm bảo điện áp của chúng có thể được coi là không đổi trong một chu kỳ hoạt động.

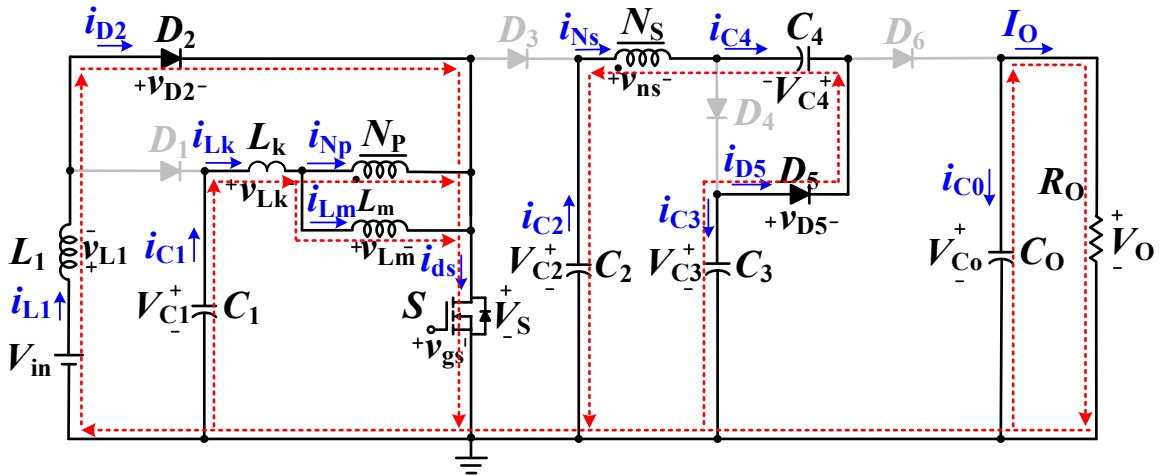
Tỉ số vòng dây của cuộn cảm ghép $n_p : n_s \sim 1 : n$

Đồ thị trạng thái dòng điện trong một chu kỳ hoạt động khi ở trạng thái ổn định của mạch được biểu thị tại Hình 3.2.



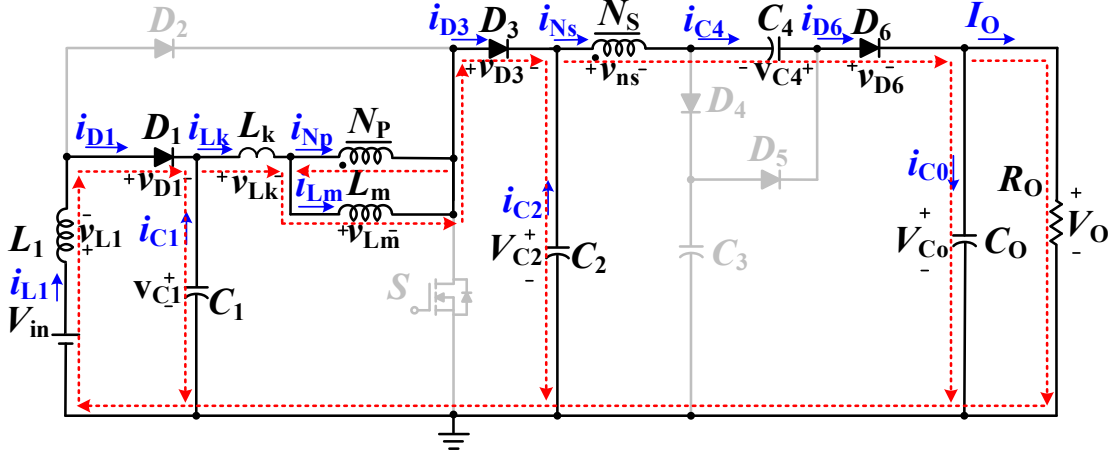
Hình 3.2. Biểu đồ dạng sóng của cấu trúc tăng áp được đề xuất.

Nhịp 1 ($t_0 - t_1$): v_{gs} cao. Các diode D_2, D_5 phân cực thuận, trong khi các diode D_1, D_3, D_4 và D_6 phân cực ngược. $i_{Lk} > i_{Lm}$, i_{Lk} & i_{Lm} , i_{Lm} & i_{Lk} đều dương và V_{in} cung cấp năng lượng cho L_1 . C_1 giải phóng năng lượng đến i_{Lk}, i_{Lm} và đến C_2, C_4 thông qua cuộn cảm ghép. C_3 giải phóng năng lượng đến C_2 and C_4 . C_0 . C_0 giải phóng năng lượng đến tải. Chế độ này kết thúc khi v_{gs} thấp tại $t = t_1$.



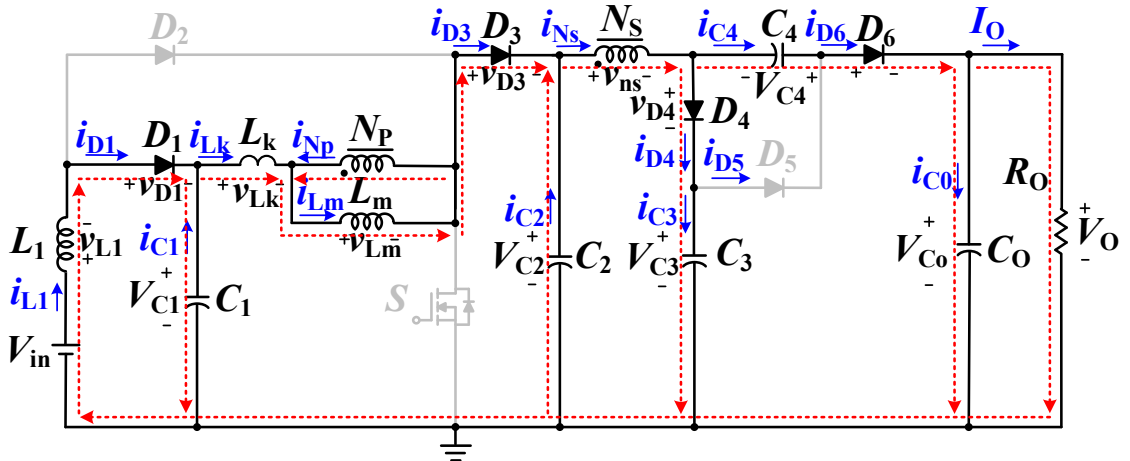
Hình 3.3. Sơ đồ nguyên lý của mạch tương đương trong nhịp 1.

Nhip 2 ($t_1 - t_2$) : v_{gs} mức thấp . Diodes D_2, D_4, D_5 phân cực ngược. D_1, D_3, D_6 phân cực thuận. $i_{Lk} < i_{Lm}, i_{Lk} \& i_{Lk} > 0, i_{Lm} \& i_{Lk}$ giảm. L_1, V_{in} giải phóng năng lượng đến C_1 . L_1 và V_{in} , thông qua $L_m \& L_k$, sạc C_2 . C_0 được sạc bởi L_m, L_1, V_{in} và C_4 . Kết thúc khi D_4 dẫn tại $t = t_2$.



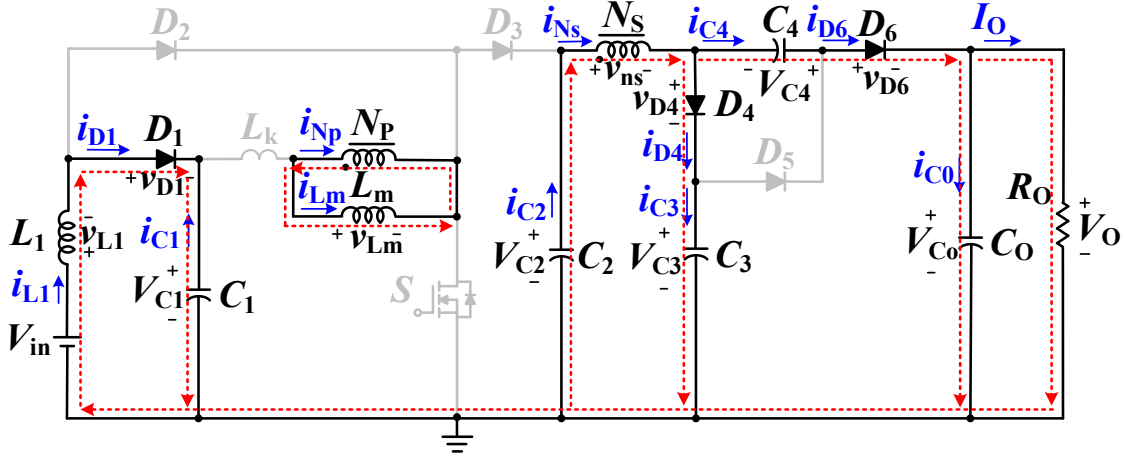
Hình 3.4. Sơ đồ nguyên lý của mạch tương đương trong nhip 2.

Nhip 3 ($t_2 - t_3$) : v_{gs} mức thấp . Diodes D_2, D_5 phân cực ngược. D_1, D_3, D_4, D_6 phân cực thuận. $i_{Lk} < i_{Lm}, i_{Lk} \& i_{Lk} > 0, i_{Lm} \& i_{Lk}$ giảm. L_1, V_{in} giải phóng năng lượng đến C_1 . C_0 được sạc bởi L_m, L_1, V_{in}, C_2 và C_4 . Kết thúc khi D_3 phân cực ngược tại $t = t_3$.



Hình 3.5. Sơ đồ nguyên lý của mạch tương đương trong nhip 3.

Nhip 4 ($t_3 - t_4$) : v_{gs} mức thấp. Diodes D_2, D_3, D_5 phân cực ngược. D_1, D_4, D_6 phân cực thuận. $i_{Lk} = 0 \& i_{Lm} > 0, i_{Lm}$ giảm. C_2, L_m sạc cho C_3 . C_2, C_4 và L_m giải phóng năng lượng cho C_0 thông qua D_6 . Mode kết thúc khi v_{gs} mức cao tại t_4 .



Hình 3.6. Sơ đồ nguyên lý của mạch tương đương trong nhịp 4.

3.3. Phân tích mạch điện ở trạng thái xác lập.

3.3.1. Hệ số khuếch đại điện áp.

Để phân tích việc cung cấp năng lượng cho cuộn cảm L_1 từ nguồn V_{in} ta áp dụng định luật Kirchhoff II, quy định rằng tổng điện áp trong một vòng mạch kín bằng 0:

$$v_{L1} = V_{in}. \quad (13)$$

$$V_{Lm} = V_{C1}. \quad (14)$$

$$V_{C4} = V_{C3} + nV_{C1} - V_{C2}. \quad (15)$$

Khi công tắc S tắt, các phương trình sau được suy ra::

$$v_{L1} = V_{in} - V_{C1}. \quad (16)$$

Từ nhịp 3:

$$V_{Lm} = V_{C1} - V_{C2}. \quad (17)$$

$$V_{C3} = V_{C2} - nV_{Lm}. \quad (18)$$

$$V_{C0} = V_{C3} + V_{C4}. \quad (19)$$

Từ (13) và (16) sử dụng định luật cân bằng điện áp trên L_1 :

$$\int_0^{DT} V_{in} dt + \int_{DT}^T (V_{in} - V_{C1}) dt = 0. \quad (20)$$

Sử dụng kết quả từ (12) và (17), áp dụng định luật cân bằng điện áp

$$\int_0^{DT} V_{C1} dt + \int_{DT}^T (V_{C1} - V_{C2}) dt = 0. \quad (21)$$

Từ (20) và (21), điện áp trên V_{C1} và V_{C2} là:

$$V_{C1} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (22)$$

$$V_{C2} = \frac{V_{in}}{(1-D)^2}. \quad (23)$$

Từ (22), (23) và (17), phương trình điện áp trên L_m :

$$V_{Lm} = -\frac{D}{(1-D)^2} V_{in}. \quad (24)$$

Dựa trên (23) và (24), điện áp trên V_{C3} :

$$V_{C3} = \frac{1+nD}{(1-D)^2} V_{in}. \quad (25)$$

Từ (22), (13), và (25) thay vào (15), điện áp trên C_4 là:

$$V_{C4} = \frac{n}{(1-D)^2} V_{in}. \quad (26)$$

Thay (25), (26) vào (19). Hệ số khuếch đại điện áp:

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{n+1+nD}{(1-D)^2}. \quad (27)$$

3.3.2. Tính toán điện áp ngược rơi trên các linh kiện.

Điện áp ngược trên MOSFET được tính theo công thức như sau:

$$V_S = \frac{V_o}{1+n+nD}. \quad (28)$$

Điện áp ngược trên các diode thành phần được tính theo:

$$V_{D1} = \frac{(1-D)V_o}{1+n+nD}. \quad (29)$$

$$V_{D2} = \frac{DV_o}{1+n+nD}. \quad (30)$$

$$V_{D3} = \frac{V_o}{1+n+nD}. \quad (31)$$

$$V_{D4} = V_{D5} = V_{D6} = \frac{nV_o}{1+n+nD}. \quad (32)$$

3.3.3. Tính toán các giá trị của cuộn cảm ghép.

Để đảm bảo mạch hoạt động trong chế độ dẫn liên tục (CCM) mà không bị gián đoạn, một nửa dòng điện gợn sóng của L_m phải nhỏ hơn dòng điện trung bình, có nghĩa là:

$$\frac{\Delta i_{Lm}}{2} < i_{Lm_ave}. \quad (33)$$

Với Δi_{Lm} là độ gợn dòng điện i_{Lm} và dòng trung bình được định nghĩa i_{Lm_ave} .

Dựa trên sơ đồ nguyên lý áp dụng Kirchhoff's Current Law (KCL), dòng điện i_{Lm} và i_{Lk} được tính như sau:

$$i_{Lm} = i_{Lk} + i_{Np}. \quad (34)$$

$$i_{Lk} = i_{D1} + i_{C1} \quad (35)$$

$$i_{Ns} = i_{D4} + i_{C4} \quad (36)$$

$$i_{D4} = i_{C3} + i_{D5} \quad (37)$$

$$i_{D6} = i_{C4} + i_{D5} \quad (38)$$

$$i_{D6} = i_{C0} + I_O \quad (39)$$

Tích phân dòng điện trên i_{D1} :

$$\frac{1}{T} \int_0^T i_{D1} dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} i_{D1} dt + \frac{1}{T} \int_{DT}^T i_{D1} dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} i_{D1} dt \quad (40)$$

Với T là chu kỳ.

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \int_0^T i_{D1} dt &= \frac{1}{T} \int_{DT}^T i_{L1} dt = (1 - D) \frac{i_{L1_max} + i_{L1_min}}{2} \\ &= (1 - D) i_{L1_ave} \\ &= (1 - D) I_{in}. \end{aligned} \quad (41)$$

Dòng điện trung bình:

$$i_{Lk_ave} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{Lk} dt \quad (42)$$

Từ (35) và (24), dòng điện rò trung bình của biến áp là

$$i_{Lk_ave} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{D1} dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_{C1} dt = (1 - D) I_{in}. \quad (43)$$

Từ (37), (31), và (39) thay vào (36) :

$$i_{Ns} = i_{C3} + i_{C0} + I_O. \quad (44)$$

Dựa trên (44), phương trình đạt được:

$$\frac{1}{T} \int_0^T i_{Ns} dt = I_O. \quad (45)$$

Giá trị trung bình dòng điện trên L_m , dựa theo phương trình (34):

$$i_{Lm_ave} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{Lk} dt + \frac{1}{T} \int_0^T i_{Np} dt. \quad (46)$$

Với phương trình tỉ lệ biến áp được định nghĩa như sau:

$$\frac{i_{Np}}{i_{Ns}} = n. \quad (47)$$

Từ phương trình (43), (45)-(47), giá trị trung bình dòng điện trên biến áp:

$$i_{Lm_ave} = (1-D)I_{in} + nI_O. \quad (48)$$

Độ gợn dòng điện trên biến áp là:

$$\Delta i_{Lm} = i_{Lm_max} - i_{Lm_min}. \quad (49)$$

Trong khoảng thời gian $t \in (0 \div DT)$, điện áp qua L_m có thể được tính như sau:

$$V_{Lm} = L_m \frac{di_{Lm}}{dt} \rightarrow \frac{di_{Lm}}{dt} = \frac{V_{Lm}}{L_m}. \quad (50)$$

Kết hợp (49) và (50), dòng điện qua L_m là:

$$\Delta i_{Lm} = \frac{1}{T} \int_0^{DT} i_{Lm} dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} \frac{V_{Lm}}{L_m} dt = \frac{V_{Lm}}{L_m} DT. \quad (51)$$

Từ (51) và (14):

$$\Delta i_{Lm} = \frac{V_{C1}}{L_m} DT. \quad (52)$$

Tại biên (BCM):

$$\frac{\Delta i_{Lm}}{2} = i_{Lm_ave}. \quad (53)$$

Từ (48), (51) - (53):

$$(1-D)I_{in} = \frac{V_{C1}}{2L_m} DT. \quad (54)$$

Từ (54) và (22) :

$$(1-D)I_{in} = \frac{V_{in}}{2L_m(1-D)} DT. \quad (55)$$

Dựa trên phương trình (55), cuộn cảm biến áp được thiết kế như sau:

$$L_m = \frac{V_{in}^2}{2(1-D)^2 P_0} DT. \quad \text{Với } P_0 = V_{in} I_{in}. \quad (56)$$

Thiết kế với điều kiện BCM tại 40%. Cuộn cảm L_m được thiết kế dựa theo công thức như sau:

$$L_{m_design} = \frac{V_{in}^2}{2 \times (1-D)^2 \times 0.4 \times P_0} DT \quad (57)$$

Giá trị điện cảm rò L_k thường có giá trị rất nhỏ:

$$L_k \leq 2\% L_m \quad (58)$$

3.3.4. Tính toán giá trị cuộn cảm đầu vào.

Cuộn cảm L_1 có vai trò làm ổn định dòng điện đầu vào của mạch thiết kế, vì vậy việc thiết kế dựa trên độ dao động dòng điện Δi_{L1} . Thiết kế cuộn cảm L_1 theo công thức sau:

$$L_{L1_design} > \frac{V_{in}}{\Delta i_{L1}} DT. \quad (59)$$

3.3.5. Tính toán giá trị tụ điện.

Việc thiết kế tụ điện dựa trên độ gợn của tụ, tần số chuyển mạch và thời gian nạp xả để chắc chắn rằng điện áp trên tụ không thay đổi khi mạch hoạt động ở trạng thái ổn định.

Thiết kế tụ C_1 dựa trên dòng điện đi vào.

$$C_1 = \frac{(1-D)I_{in}}{f_s \Delta V_{C1}}. \quad (60)$$

Tương tự thiết kế cho các tụ còn lại:

$$C_{2,3,4} = \frac{DI_{C2,3,4}}{f_s \Delta V_{C2,3,4}}. \quad (61)$$

Thiết kế tụ C_0 sẽ ảnh hưởng đến độ dao động điện áp đầu ra:

$$C_0 = \frac{(1-D)V_O}{f_s R_0 \Delta V_0}. \quad (62)$$

Với $f_s, R_0, \Delta V_0$ lần lượt là tần số chuyển mạch, tải, và độ gợn trên tụ.

CHƯƠNG 4. MÔ PHỎNG & THỰC NGHIỆM

4.1. Thông số mạch.

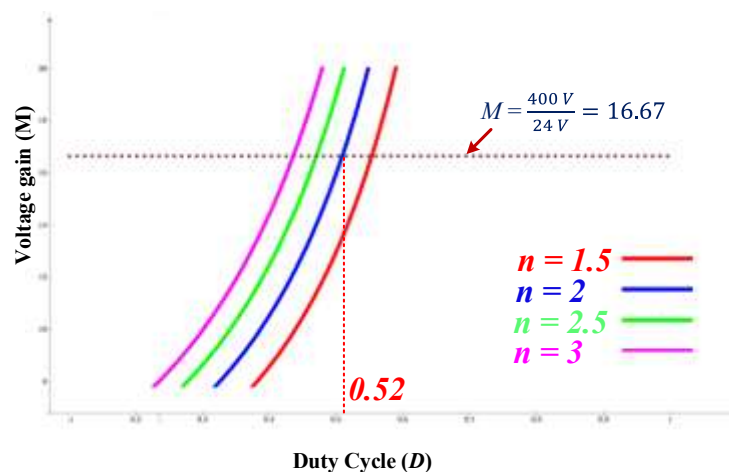
Để tiến hành mô phỏng & thực nghiệm cần các thông số cụ thể. Các yêu cầu về thông số kỹ thuật của bộ chuyển đổi được liệt kê trong *Bảng 4.1*. Dựa vào những thông số này, kết hợp phần tính toán ở chương trước ta tiến hành tính chọn các thành phần.

Bảng 4.1 Các yêu cầu kỹ thuật cần đạt của bộ chuyển đổi.

Thông số	Giá trị
Điện áp ngõ vào V_{in}	24V
Điện áp ngõ ra V_O	400V
Công suất định mức P_O	300W
Điện trở tải R_O	533 Ω
Tần số chuyển mạch f_s	50kHz

Để hoàn thiện bộ thông số mô phỏng các thông số như chu kỳ hoạt động D , tỷ số vòng dây cuộn cảm ghép n , các thông số điện cảm L_m , L_k , giá trị cuộn cảm đầu vào L_1 cũng cần được làm rõ.

Theo (27), hệ số khuếch đại điện áp M phụ thuộc vào 2 tham số là chu kỳ hoạt động D và tỷ số vòng dây cuộn cảm ghép n . Để chọn n , ta dựa trên yêu cầu kỹ thuật bộ chuyển đổi ở *Bảng 4.1* tiến hành khảo sát mối quan hệ giữa D và M theo các giá trị n khác nhau, giá trị của D thường được chọn từ 0,4 đến 0,6 nhằm tối ưu hiệu suất cho bộ chuyển đổi. Từ *Hình 4.1* để đạt được yêu cầu M chọn $n = 2$ tương ứng $D = 0,52$.



Hình 4.1. Mối quan hệ giữa D và M ứng với các giá trị của $n = 1.5, 2, 2.5, 3$

Các linh kiện bán dẫn như MOSFET, DIODE được chọn thông qua điện áp ngược rơi trên linh kiện đó và khả năng tải công suất. Từ các công thức mục 3.3.2 (Tính toán điện áp ngược rơi trên các linh kiện) và Bảng 4.1 (Các yêu cầu kỹ thuật cần đạt của bộ chuyển đổi) thay vào và tổng hợp được Bảng 4.2 (Điện áp ngược rơi trên các linh kiện thông qua công thức tính toán).

Bảng 4.2 Điện áp ngược rơi trên các linh kiện thông qua công thức tính toán

Thông số	Giá trị
Điện áp ngược rơi trên MOSFET	98 V
Điện áp ngược rơi trên DIODE D_1	45 V
Điện áp ngược rơi trên DIODE D_2	53 V
Điện áp ngược rơi trên DIODE D_3	98 V
Điện áp ngược rơi trên DIODE $D_{4\sim 6}$	196 V

Đến đây kết hợp các phương trình (57), (58) ta có được Bảng 4.3 (Tổng hợp các thông số kỹ thuật của bộ chuyển đổi).

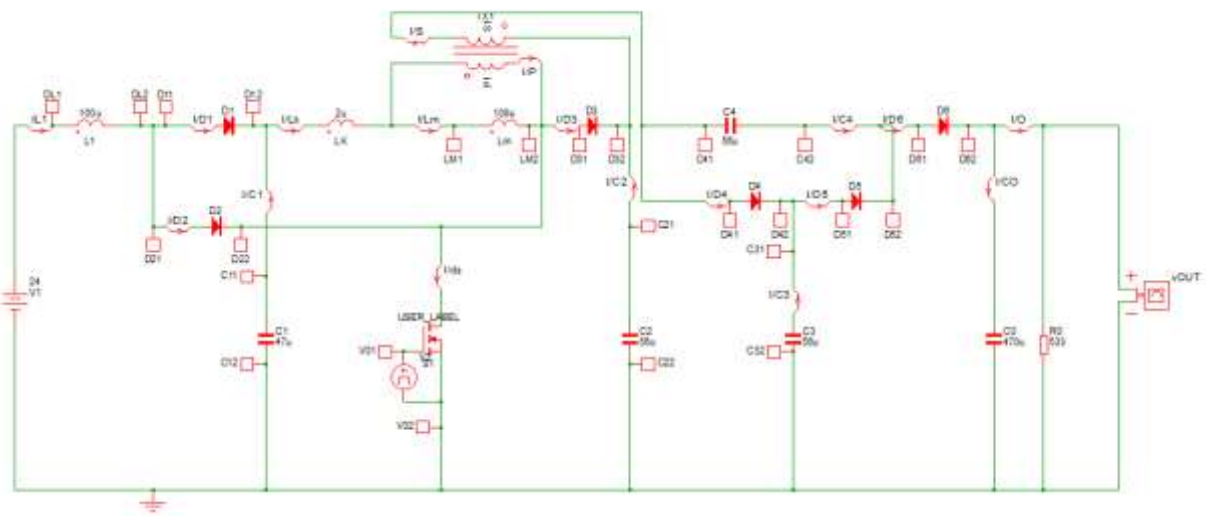
Bảng 4.3 Tổng hợp các thông số kỹ thuật của bộ chuyển đổi

Thông số	Giá trị
Điện áp ngõ vào V_{in}	24 V
Điện áp ngõ ra V_O	400 V
Công suất định mức P_O	300 W
Điện trở tải R_O	533 Ω
Tần số chuyển mạch f_s	50 kHz
Chu kỳ hoạt động D	0.52
Điện cảm cuộn cảm vào L_1	100 μH
Điện cảm từ hóa cuộn cảm ghép L_m	108 μH
Điện cảm rò cuộn cảm ghép L_k	2 μH
Điện dung và điện áp tối thiểu tụ đầu ra C_O	470 μF / 400V
Điện dung và điện áp tối thiểu trên tụ C_1, C_2, C_3, C_4	47 μF / 53V, 56 μF / 114V, 56 μF / 114V, 56 μF / 227V

4.2. Kết quả mô phỏng.

Phần mềm mô phỏng SIMetrix-SIMPLIS được sử dụng nhờ khả năng mô phỏng hiệu quả các mạch công suất cao và hệ thống phức tạp. Với thư viện linh kiện phong phú và công cụ phân tích đa dạng, phần mềm hỗ trợ rút ngắn thời gian thiết kế và giảm chi phí thử nghiệm thông qua mô phỏng chính xác.

Từ các thông số được đưa ra tại *Bảng 4.2* cấu trúc thiết kế mô phỏng được trình bày tại *Hình 4.2* với các dạng sóng điều khiển và điện áp rơi trên mosfet được thể hiện tại *Hình 4.3*. Đồ thị dòng điện đi qua diode và dòng điện rò được trình bày tại *Hình 4.4*. *Hình 4.5* trình bày kết quả điện áp với điện áp $V_o = 400V$.



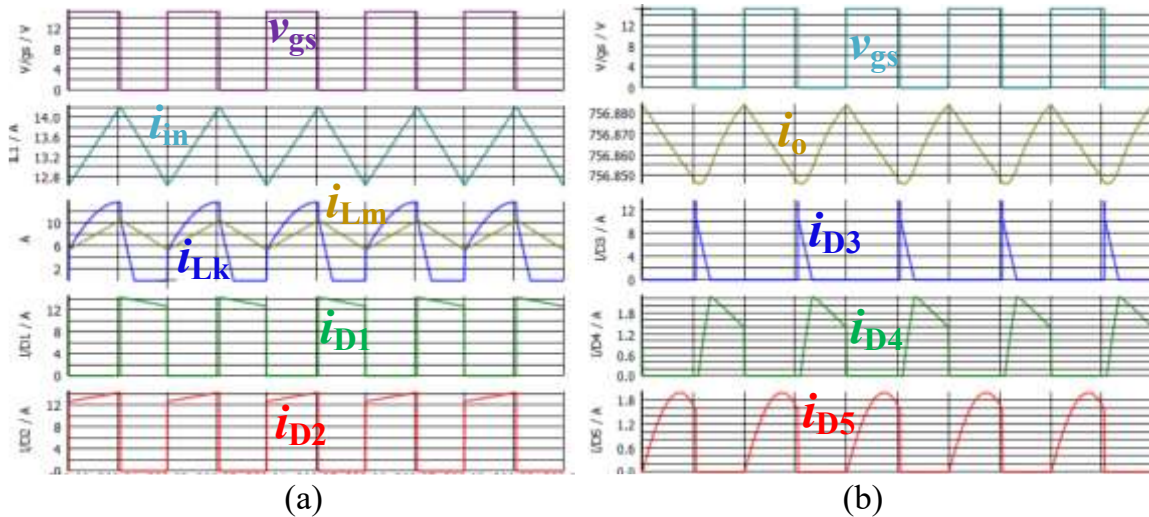
Hình 4.2 Hình ảnh mô phỏng sơ đồ nguyên lý của bộ chuyển đổi.

Dạng tín hiệu điều khiển của v_{gs} và điện áp trên MOSFET.

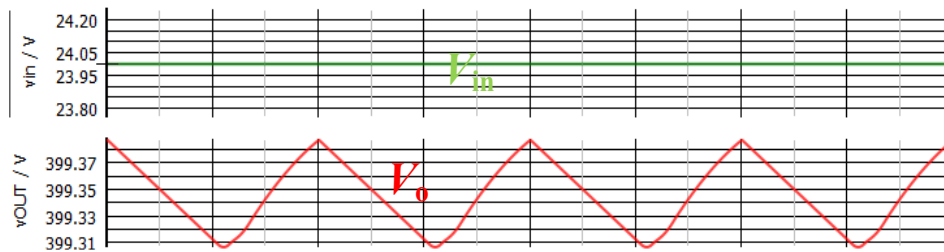


Hình 4.3 Hình ảnh kết quả mô phỏng dạng sóng v_{gs} và điện áp trên MOSFET.

Hình 4.3 trình bày kết quả mô phỏng với tín hiệu điều khiển điện áp $v_{gs} = 15V$ và điện áp ngược trên MOSFET $v_{ds} = 100V$ tại mức công suất $P_o = 300W$. Kết quả cho thấy công thức (36) được kiểm chứng là chính xác.



Hình 4.4 (a) Đồ thị tín hiệu điều khiển v_{gs} , i_{in} , i_{Lk} & i_{Lm} , i_{D1} , i_{D2} ; (b) Đồ thị tín hiệu điều khiển v_{gs} , dòng điện i_o , i_{D3-D5}



Hình 4.5 Đồ thị kết quả mô phỏng với $V_{in}=24V$, $V_o = 400V$

Mạch kẹp thụ động, bao gồm diode D_3 và tụ điện C_2 , đã thực hiện tốt vai trò giới hạn điện áp trên MOSFET, đồng thời tái sử dụng hiệu quả năng lượng rò từ cuộn cảm, phù hợp với phân tích đã trình bày ở mục 3.2.

Tại Hình 4.4, dạng sóng thu được thể hiện rõ trạng thái hoạt động của mạch tương ứng với lý thuyết đã phân tích, cho thấy hệ thống hoạt động ổn định với công suất 300 W.

Hình 4.5 thể hiện điện áp đầu ra V_o có độ gợn cực thấp, chứng minh tính khả thi của mạch trong các ứng dụng nguồn năng lượng tái tạo yêu cầu độ ổn định điện áp cao.

Ngoài việc xác minh bằng các thông số kỹ thuật đã được mô phỏng, sơ đồ phân cứng cũng sẽ được thiết kế để chứng minh khả năng hoạt động ổn định của mạch trong thực tế, các tính năng đã đề cập sẽ được trình bày tại phần 4.3 (Thực nghiệm kiểm chứng).

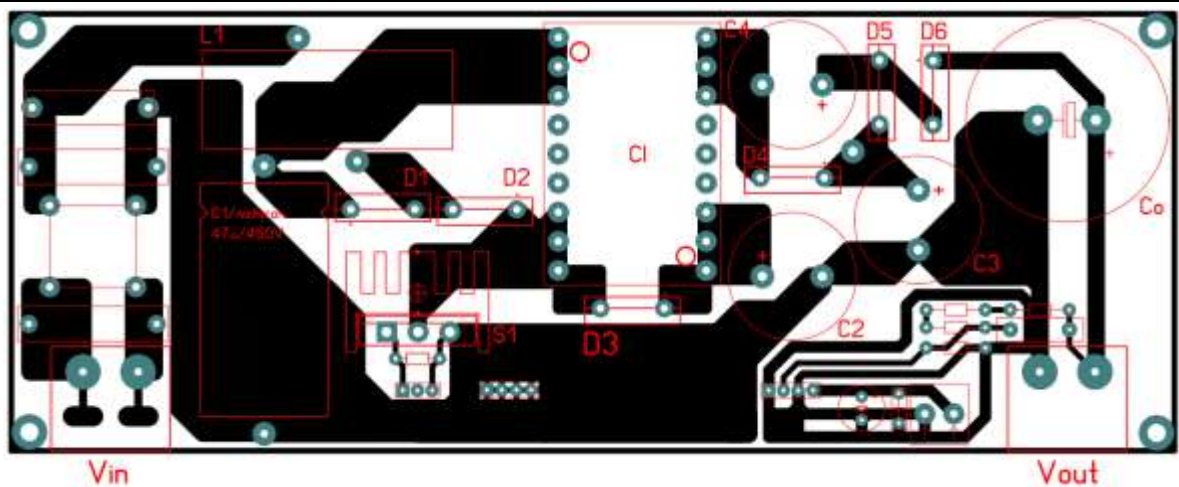
4.3. Thực nghiệm kiểm chứng.

Dựa trên các thành phần được liệt kê ở mục 4.1 (Lựa chọn các thiết bị) các số liệu đã phân tích, tính chọn trong Bảng 4.1, kết hợp số liệu từ phần mềm ta có thể chọn các linh kiện thực tế như MOSFET & Diode cụ thể được tổng hợp tại Bảng 4.2.

Một phần cứng được hoàn thiện và thiết kế với công suất $P_o = 300W$. Thiết kế mạch in (PCB) với kích thước 10x20 cm trên phần mềm Spring Layout, đảm bảo sắp xếp các linh kiện hợp lý, tối ưu hóa đường mạch và tuân thủ các nguyên tắc thiết kế như khoảng cách an toàn, độ rộng đường dẫn và lớp mạch. Cuối cùng, kiểm tra kỹ lưỡng mạch điện trên phần mềm để đảm bảo không có lỗi trước khi xuất file. Sơ đồ PCB layout được trình bày tại Hình 4.6 và sơ đồ phần cứng thiết kế được trình bày tại Hình 4.7.

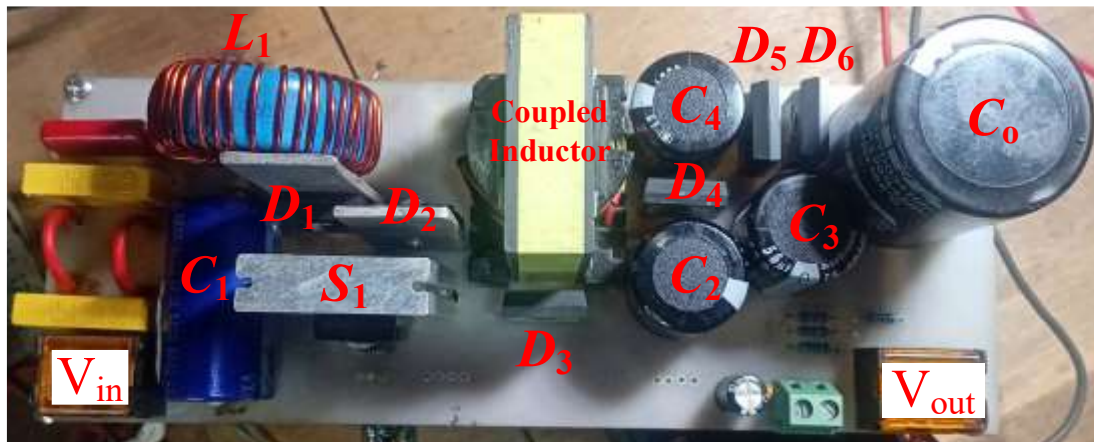
Bảng 4.4 Thông số các linh kiện của bộ chuyển đổi

Thành phần		Thông số/ Mã linh kiện	Hãng	Thông số kỹ sinh cần quan tâm
MOSFET		IXFK64N60P	IXYS	$R_{DS(on)} \leq 96m\Omega$
DIODE D_{1-6}		DSEP30-06A	IXYS	$V_F = 1.25 \sim 1.6V$
Cuộn cảm ghép	Lõi	EER42, Mã: 44216EC	MAGNETICS	
	Tỷ lệ số vòng dây: Sơ ÷ Thứ	17 ÷ 34		
	Tiết diện dây quấn	Sơ: $2 mm^2$, Thứ: $1 mm^2$		
Cuộn cảm L_1	Lõi	Lõi xuyên, Mã: MS-157060-2	MICROMETA LS	
	Số vòng	40		
Tụ C_1		$47\mu F/450V$	Nichicon	$ESR \approx 500m\Omega$
Tụ C_{2-4}		$56\mu F/450V$	Nichicon	$ESR \approx 500m\Omega$
Tụ C_o		$470\mu F/450V$	Nichicon	$ESR \approx 500m\Omega$

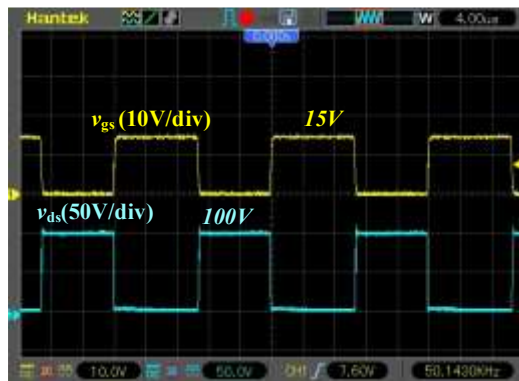


Hình 4.6. Sơ đồ PBC layout thiết kế của mạch.

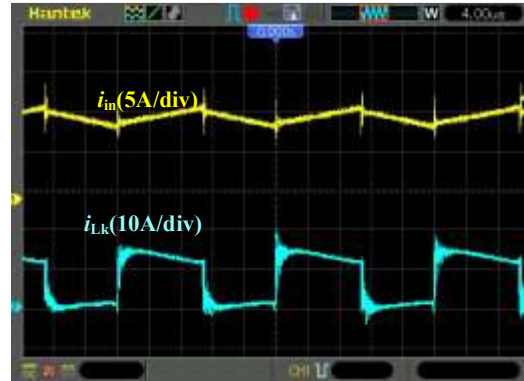
Từ Hình 4.6, thiết kế với driver điều khiển mosfet gần nhau để hạn chế nhiễu, đồng thời các đường dây tín hiệu điều khiển cũng được bố trí không đi qua biến áp.



Hình 4.7. Phần cứng của cấu trúc đề xuất.



(a)



(b)

Hình 4.8 Đồ thị v_{gs} và v_{ds} (a); Đồ thị i_{in} và i_{Lk} (b)



Hình 4.9 Đồ thị điện áp $V_{in}=24V$, $V_o=400V$.

Từ Hình 4.8(a), kết quả mô phỏng cho thấy mức điện áp $v_{ds} = 100V$ phù hợp với công thức (28). Đường cong dòng điện i_{in} và i_{Lk} tại Hình 4.8(b) có dạng tương tự với kết quả mô phỏng trước đó tại Hình 4.4(a), cho thấy sự nhất quán trong hoạt động của mạch.

Với điện áp đầu vào $V_{in} = 24V$ và chu kỳ hoạt động $D = 52,5\%$, mức điện áp đầu ra $V_o = 400V$ được thể hiện tại Hình 4.9 với độ gợn rất thấp. Kết quả này cho thấy mạch hoạt động ổn định và phù hợp với các ứng dụng năng lượng tái tạo, nơi yêu cầu điện áp đầu ra cao và ổn định, đồng thời khẳng định tiềm năng áp dụng của mạch trong các hệ thống tương lai.

4.4. So sánh với các bộ tăng áp DC-DC đã đề xuất.

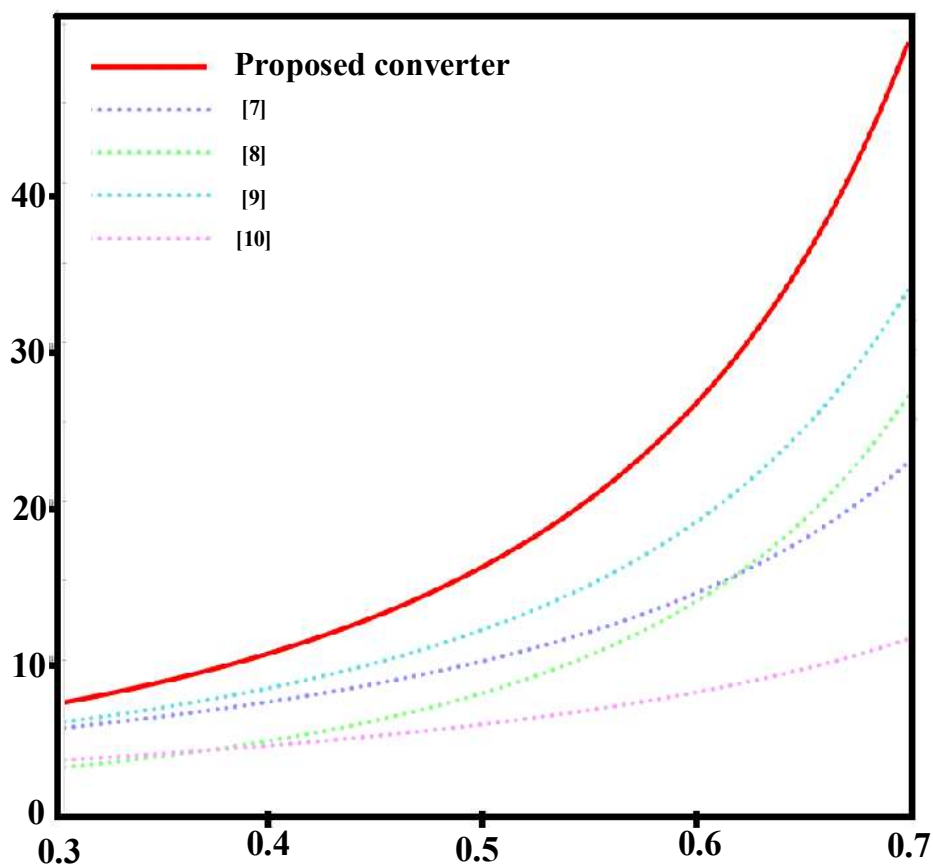
Việc so sánh với các cấu trúc đã được đề xuất trước đây dựa trên các yếu tố như số lượng MOSFET (S), diode (D), tụ điện (C), cũng như cuộn cảm và cuộn cảm ghép (I/CI). Dựa vào Bảng 4.3, có thể nhận thấy rằng mặc dù cấu trúc được đề xuất sử dụng số lượng linh kiện tương đương với các bài [7] và [8], nhưng lại đạt được tỷ lệ chuyển đổi điện áp cao hơn, trong khi ứng suất điện áp trên công tắc chính lại thấp hơn.

Đáng chú ý, cấu trúc trong [8] sử dụng tới 3 lõi từ, làm tăng đáng kể chi phí thiết kế so với cấu trúc được đề xuất trong nghiên cứu này. Ngoài ra, so với các bài [9] và [10], số lượng linh kiện trong cấu trúc đề xuất ít hơn, giúp tiết kiệm chi phí sản xuất và đơn giản hóa thiết kế.

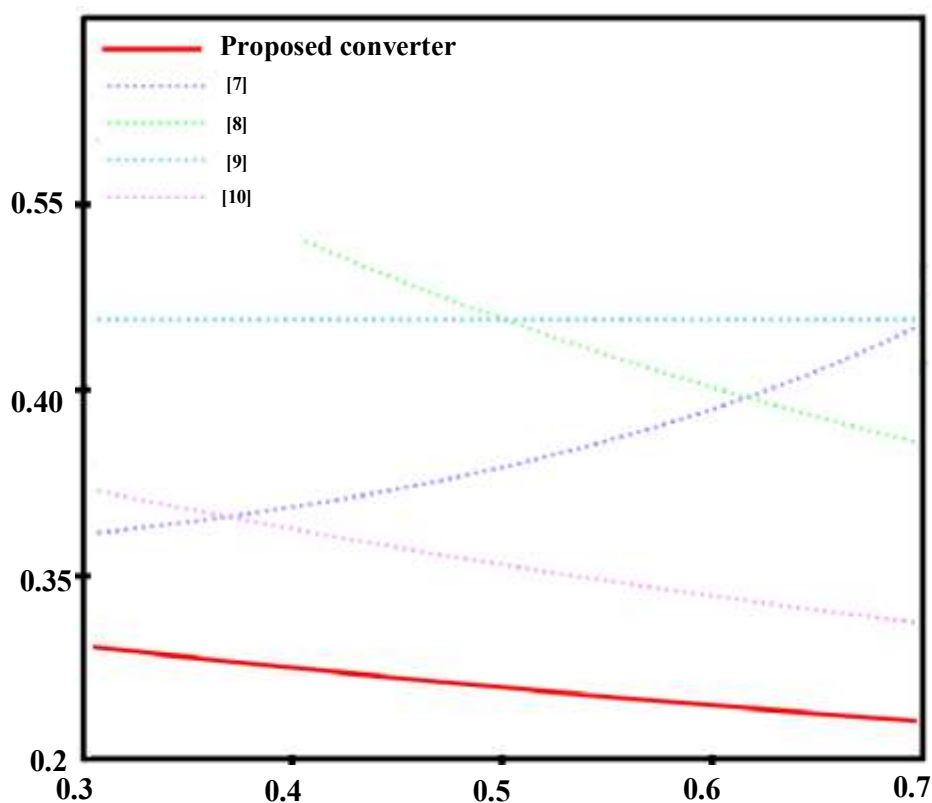
Đường cong điện áp so sánh giữa các cấu trúc được thể hiện tại Hình 4.10. Bên cạnh đó, đường cong mô tả mức điện áp ngược trên các công tắc cũng sẽ được trình bày trong cùng hình để làm rõ ưu điểm của cấu trúc đề xuất.

Bảng 4.5 Bảng so sánh với các cấu trúc đã đề xuất.

Tài liệu tham khảo	Số lượng các thành phần				Hệ số khuếch đại	Ứng suất điện áp trên công tắc
	S	D	C	I/CI		
[7]	1	6	5	1/1	$\frac{1+n-nD^2}{(1-D)^2}$	$\frac{1}{1+n-nD^2}$
[8]	1	6	4	2/1	$\frac{1+nD}{(1-D)^2}$	$\frac{1}{1+nD}$
[9]	1	7	5	1/1	$\frac{1+n}{(1-D)^2}$	$\frac{1}{2}$
[10]	2	8	5	0/2	$\frac{2+nD}{1-D}$	$\frac{1}{2+nD}$
Bộ chuyển đổi đề xuất	1	6	5	1/1	$\frac{n+1+nD}{(1-D)^2}$	$\frac{1}{n+1+nD}$



Hình 4.10 Đồ thị đường cong điện áp so sánh trong Bảng 4.3.



Hình 4.11 Đồ thị đường cong so sánh điện áp ngược trong Bảng 4.3

4.5. Phân tích tổn hao, hiệu suất mạch điện.

Tổn thất hiệu suất trên mạch gây ra bởi các điện trở ký sinh trên thiết bị, trong đó bao gồm tổn thất thành phần và tổn thất chuyển mạch với điện trở ký sinh trên trở (r_{on}), tổn thất trên diode sinh ra bởi điện trở ký sinh trên diode (r_D) và điện áp rơi (v_F), điện trở tương đương nối tiếp trên tụ điện (r_C). Ngoài ra, còn có tổn thất gây nên bởi cuộn cảm bao gồm tổn thất dẫn trên cuộn cảm ghép ở phía sơ cấp (r_P), (r_S) ở phía thứ cấp và tổn thất lõi.

Tổn thất trên mosfet được tính theo công thức:

$$P_S = I_{S,rms}^2 \cdot r_{on} + \frac{1}{2} v_{ds} f_s (i_{sw(min)} t_{on} + i_{sw(max)} t_{off}) \quad (63)$$

Trong đó t_{on} và t_{off} là thời gian chuyển mạch và $I_{S,rms}$ là dòng điện hiệu dụng đi qua mosfet.

Tổn thất trên diode được tính dựa trên trở ký sinh trên nó và điện áp rơi do thiết kế.

$$P_D = \sum_{i=0}^5 r_{Di} I_{Di,rms}^2 + v_{Fi} I_{Di,ave} \quad (64)$$

Với $I_{Di,ave}$ là dòng điện trung bình đi qua diode trong 1 chu kỳ và $I_{rms,D}$ là dòng điện hiệu dụng đi qua diode.

Tổn thất trên tụ điện phụ thuộc vào điện trở ký sinh trên nó, được xác định bởi:

$$P_C = \sum_{i=0}^4 r_{Ci} I_{Ci,rms}^2 \quad (65)$$

Tổn thất trên cuộn cảm bao gồm tổn thất dẫn và tổn thất lõi:

$$P_L = P_{Con} + P_{Core} \quad (66)$$

Với tổn thất dẫn

$$P_{Con} = I_{P,rms}^2 \cdot r_P + I_{S,rms}^2 \cdot r_S \quad (67)$$

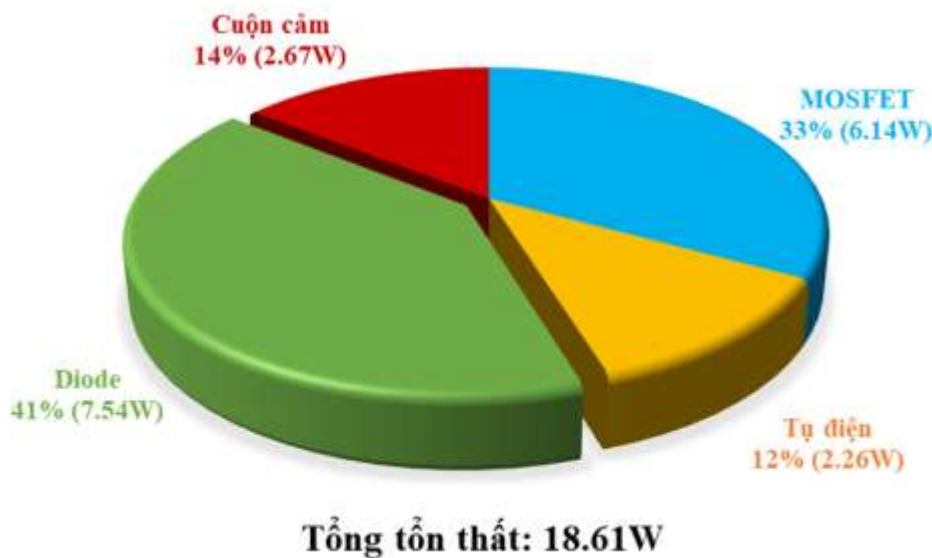
và tổn thất lõi

$$P_{Core} = K \cdot f^\alpha \cdot (B_{max})^\beta \cdot A_c \cdot l_c \quad (68)$$

Trong đó mật độ từ thông cực đại là B_{max} , A_c là tiết diện lõi và l_c là chiều dài của lõi. Các thông số K , α , và β được lấy từ datasheet.

Từ các công thức (65) ~ (68) và các thông số thực tế được lấy từ datasheet, sử dụng phần mềm SIMetrix-SIMPLIS để phân tích tổn thất trong mạch, với công suất $P_O =$
 Hồ Xuân Khánh – Phạm Dương Thạch GVHD: TS. Trần Thái Anh Âu 31

300W hiệu suất mạch đạt được 94%, các phân tích tổn thất được trình bày tại *Hình 4.12* bao gồm tổn thất Diode chiếm lớn nhất với 41% tương ứng với 7.54W, tổn thất mosfet chiếm 33% (6.14W), tiếp đến là tổn thất trên cuộn cảm chiếm 14% (2.67W) và phần còn lại, tổn thất trên tụ chiếm 12% (2.26W). Tổng tổn thất 18.61W.



Hình 4.12 Tổn thất công suất ở mức $P_o = 300W$.

Phân tích chi tiết tổn thất sẽ được trình bày tại *Bảng 4.6*

Bảng 4.6 Tổn thất trên linh kiện

Thành phần	Tổn thất (W)	Tổn thất (%)
Mosfet (S1)	6.140	33
Diode (D1)	2.753	14.80
Diode (D2)	3.041	16.36
Diode (D3)	0.428	2.305
Diode (D4)	0.438	2.357
Diode (D5)	0.436	2.348
Diode (Do)	0.437	2.350
Tụ (C1)	1.306	7.023
Tụ (C2)	0.378	2.03
Tụ (C3)	0.260	1.40
Tụ (C4)	0.247	1.33
Tụ (Co)	0.068	0.37
Cuộn cảm(L)	2.670	14
Tổng tổn thất:	18.61W	100%

4.6. Kết luận

Từ quá trình nghiên cứu và mô phỏng, có thể khẳng định rằng cấu trúc bộ chuyển đổi DC-DC tăng áp mới được đề xuất đã cho thấy khả năng hoạt động ổn định cùng nhiều ưu điểm vượt trội. Cấu trúc này đạt được hệ số khuếch đại điện áp cao trong khi vẫn đảm bảo mức điện áp ngược trên MOSFET thấp, giúp kéo dài tuổi thọ linh kiện. Đồng thời, phần năng lượng rò rỉ từ cuộn cảm được tái sử dụng hiệu quả, góp phần nâng cao tổng hiệu suất của hệ thống.

Một điểm nổi bật khác là điện áp đầu ra V_o có độ gợn rất nhỏ, đáp ứng yêu cầu của các ứng dụng năng lượng tái tạo vốn đòi hỏi nguồn điện ổn định và chất lượng cao. Điều này cho thấy cấu trúc mạch không chỉ phù hợp về mặt kỹ thuật mà còn có tính ứng dụng thực tiễn cao trong các hệ thống năng lượng sạch hiện đại.

Ngoài ra, việc chỉ sử dụng một MOSFET giúp đơn giản hóa khâu điều khiển, loại bỏ nhu cầu về các mạch driver phức tạp, từ đó giảm thiểu chi phí, tăng độ tin cậy và dễ dàng triển khai trong thực tế. Tuy nhiên, do giới hạn về linh kiện và điều kiện thí nghiệm, hiệu suất thực tế có thể chưa đạt mức tối ưu như trong mô phỏng.

Trong tương lai, hướng phát triển sẽ tập trung vào việc tối ưu hóa hơn nữa cấu trúc mạch, nhằm giảm số lượng linh kiện, qua đó rút ngắn quy trình sản xuất và phù hợp hơn với các tiêu chuẩn công nghiệp. Đồng thời, việc nâng cao khả năng chuyển đổi điện áp sẽ giúp cấu trúc thích nghi tốt hơn với nhu cầu ngày càng khắt khe của thị trường năng lượng tái tạo và các ứng dụng điện tử công suất hiện đại.

Bên cạnh đó, việc thiết kế mạch hồi tiếp (feedback control) sẽ được xem xét để cải thiện khả năng ổn định điện áp đầu ra, đặc biệt trong các điều kiện tải biến thiên. Mạch hồi tiếp không chỉ giúp duy trì điện áp chính xác, mà còn tăng khả năng phản ứng nhanh với sự thay đổi của hệ thống, nâng cao độ tin cậy và hiệu suất điều khiển. Đây sẽ là bước quan trọng để hoàn thiện cấu trúc mạch, hướng tới các ứng dụng thương mại và tích hợp trong các hệ thống điện năng lượng tái tạo quy mô lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Keshav Patidar, Amod C. Umarikar, High step-up converters based on quadratic boost converter for micro-inverter, *Electric Power Systems Research*, Volume 119, 2015, Pages 168-177, ISSN ,0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.09.018>.
- [2] F. Jiang *et al.*, "A Zero Current Ripple Bidirectional DC–DC Converter With High Voltage Gain and Common Ground for Hybrid Energy Storage System EVs," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 11, no. 5, pp. 4882-4894, Oct. 2023, doi: 10.1109/JESTPE.2023.3304364. keywords: {Voltage; High-voltage
- [3] R. P. Upputuri and B. Subudhi, "A Comprehensive Review and Performance Evaluation of Bidirectional Charger Topologies for V2G/G2V Operations in EV Applications," in *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 10, no. 1, pp. 583-595, March 2024, doi: 10.1109/TTE.2023.3289965.
- [4] Jana, A.S.; Lin, C.-H.; Kao, T.-H.; Chang, C.-H. A High Gain Modified Quadratic Boost DC-DC Converter with Voltage Stress Half of Output Voltage. *Appl. Sci.* 2022, 12, 4914. <https://doi.org/10.3390/app12104914>
- [5] Power Electronics Mohan 3rd Edition, NED M O W Department of Electrical Engineering University, 2003, 3rd Edition, Wiley, 9780471429081. e591054f21c1105721d025d79dd02866 -- Anna's Archive
- [6] R.W. Erickson and D. Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics," 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, Berlin, 2001.
- [7] Hajiabadi, M. K., Eshkevari, A. L. & Mosallanejad Salemnia, A. A. "Non-isolated high step-up DC/DC converter for low-voltage distributed power systems based on the quadratic boost converter." *Int. J. Circuit Theory Appl.* 50(6), 1946–1964 (2022). doi: 10.1002/cta.3234.
- [8] S. W. Lee and H. L. Do, "High Step-Up Coupled-Inductor Cascade Boost DC–DC Converter with Lossless Passive Snubber," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 10, pp. 7753-7761, Oct. 2018, doi: 10.1109/TIE.2018.2803731.
- [9] S. A. Modaberi, B. Allahverdinejad and M. R. Banaei, "A Quadratic High Step-up DC-DC Boost Converter Based on Coupled inductor with Single Switch and Continuous Input Current," *2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and*

Technologies Conference (PEDSTC), Tabriz, Iran, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/PEDSTC52094.2021.9405958.

[10] M. B. Meier, S. Avelino da Silva, A. A. Badin, E. F. R. Romaneli and R. Gules, "Soft-Switching High Static Gain DC–DC Converter Without Auxiliary Switches," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 3, pp. 2335-2345, March 2018, doi: 10.1109/TIE.2017.2739684.