

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

KHOA ĐIỆN TỬ 1

BỘ MÔN ĐIỆN TỬ MÁY TÍNH



**BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN MÔN CAD/CAM
THIẾT KẾ VÀ PHÂN TÍCH MẠCH NGUỒN XUNG**

Giảng viên hướng dẫn	: Th.S Vương Viết Thao
Họ tên và mã sinh viên	: Lê Chí Hiếu – B23DCDT089
	Trần Anh Vũ – B22DCDT335
	Trương Văn Hiệp – B22DCDT110
Lớp	: Điện Tử
Nhóm	: 05

Hà Nội – 2025

Mục lục

Chương 1 : Giới thiệu về mạch nguồn xung	7
1.1. Vai trò của bộ nguồn trong hệ thống điện tử.....	7
1.2. So sánh nguồn tuyến tính và nguồn xung	7
Nguồn tuyến tính (Linear Power Supply)	7
Nguồn xung (Switching Power Supply – SMPS).....	8
1.3. Ưu điểm và nhược điểm của nguồn xung.....	8
Ưu điểm:	8
Nhược điểm:	8
1.4. Ứng dụng thực tế của nguồn xung.....	9
Chương 2: Cơ sở lý thuyết về mạch nguồn xung	9
2.1. Nguyên lý hoạt động cơ bản của nguồn xung	9
2.2. Các cấu trúc nguồn xung thông dụng	10
(1) Buck Converter (Nguồn hạ áp):	10
(2) Boost Converter (Nguồn tăng áp):	10
(3) Buck-Boost Converter:.....	10
(4) Flyback Converter:.....	10
(5) Forward Converter, Half-Bridge, Full-Bridge:	10
2.3. Các khối chức năng cơ bản trong nguồn xung	10
2.4. Đặc điểm và các chỉ tiêu kỹ thuật của nguồn xung	11
2.5. Ý nghĩa thực tiễn của lý thuyết nguồn xung	11
CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH MẠCH NGUỒN XUNG THỰC TẾ	11
1. Khối chỉnh lưu và lọc đầu vào (Input Rectifier & Filter)	14
2. Mạch khởi động và cấp nguồn cho điều khiển (Startup Circuit)	14
3. Biến áp xung (High-Frequency Transformer – Tran13).....	14
4. Mạch chỉnh lưu và lọc đầu ra (Output Rectifier & Filter)	14
5. Mạch hồi tiếp ổn áp (Feedback & Regulation Circuit)	14
6. Mạch bảo vệ	15
CHƯƠNG IV: THIẾT KẾ MẠCH NGUỒN XUNG	19

4.1. Yêu cầu thiết kế	19
4.2. Lựa chọn sơ đồ topology	19
Các phương án topology:.....	19
Topology được chọn:.....	19
4.3. Tính toán thiết kế mạch lực.....	19
1. Biến áp xung (Tran13):.....	20
4.4. Thiết kế mạch điều khiển PWM	20
1. Khôi hồi tiếp quang (U14 + IC TL431):	20
2. Mạch bù hồi tiếp:.....	20
3. Bảo vệ và ổn định:	21
4.5. Mô phỏng mạch nguyên lý.....	21
Kết quả mô phỏng (theo sơ đồ thực tế):	21
Nhận xét:	21
CHƯƠNG V: THIẾT KẾ MẠCH IN (PCB)	21
5.1. Nguyên tắc thiết kế PCB cho nguồn xung.....	21
5.2. Bố trí linh kiện (Layout)	22
5.3. Thiết kế lớp mạch	22
5.4. Xuất mạch in	22
CHƯƠNG VI — CHẾ TẠO · LẮP RÁP · KIỂM THỬ	1
6.1 Quy trình chế tạo PCB (Manufacturing)	1
6.1.1 Chuẩn bị file cho nhà máy	1
6.1.2 Kiểm tra trước khi gửi (DFM review).....	1
6.1.3 Quy trình chế tạo chung	1
6.2 Lắp ráp mạch nguồn xung.....	1
6.2.1 Chuẩn bị vật tư & thiết bị	24
6.2.2 Trật tự hàn (recommended)	24
6.2.3 Kiểm tra sơ bộ sau khi hàn (Visual & continuity)	24
6.3 Kiểm thử và đo lường (Test & Measurement) — quy trình rất chi tiết	24
6.3.1 Thiết bị cần thiết.....	24
6.3.2 Sequence kiểm thử (bước-by-bước).....	24
6.3.3 Cách đọc & thiết lập scope cho các phép đo phổ biến	25
6.4 So sánh kết quả thực tế và mô phỏng	26

6.4.1 Bảng mẫu so sánh (BẢNG MẪU)	26
6.4.2 Phân tích sai lệch (mẫu)	26
6.5 Đánh giá – kết luận.....	26
6.5.1 Tiêu chí chấm điểm hoàn thiện mạch.....	26
6.5.2 Báo cáo nghiệm thu (nên có)	27
6.5.3 Hướng cải tiến (đề xuất kỹ thuật)	27
TÀI LIỆU THAM KHẢO	28

Lời mở đầu

Trong bối cảnh khoa học kỹ thuật ngày càng phát triển, các thiết bị điện – điện tử đóng vai trò ngày càng quan trọng trong mọi lĩnh vực của đời sống và sản xuất. Để các thiết bị này hoạt động ổn định, nguồn cung cấp năng lượng điện là yếu tố không thể thiếu. Một hệ thống điện tử, dù hiện đại và phức tạp đến đâu, cũng không thể vận hành đúng chức năng nếu thiếu đi bộ nguồn cung cấp phù hợp. Chính vì vậy, việc nghiên cứu, thiết kế và tối ưu hóa các mạch nguồn luôn là một nội dung then chốt trong chương trình đào tạo kỹ sư điện – điện tử.

Trong số các loại nguồn điện, nguồn tuyến tính (linear power supply) trước đây được sử dụng phổ biến do có cấu tạo đơn giản và chất lượng điện áp đầu ra ổn định. Tuy nhiên, nhược điểm lớn của nguồn tuyến tính là hiệu suất thấp, tổn hao năng lượng cao, kích thước và khối lượng cồng kềnh do phải sử dụng biến áp hạ áp truyền thống. Điều này khiến nguồn tuyến tính dần trở nên hạn chế khi phải đáp ứng các yêu cầu về thiết bị nhỏ gọn, tiết kiệm năng lượng và công suất lớn.

Để khắc phục những hạn chế trên, mạch nguồn xung (Switching Mode Power Supply – SMPS) ra đời và nhanh chóng trở thành giải pháp ưu việt. Mạch nguồn xung hoạt động dựa trên nguyên lý chuyển mạch với tần số cao, cho phép biến đổi và điều chỉnh điện áp một cách hiệu quả hơn nhiều so với phương pháp tuyến tính. Nhờ đó, nguồn xung có hiệu suất cao (có thể đạt trên 80 – 90%), kích thước nhỏ gọn, trọng lượng nhẹ và khả năng cung cấp dòng lớn, đáp ứng tốt cho cả các thiết bị dân dụng lẫn công nghiệp.

Trong báo cáo này, nhóm chúng em tập trung nghiên cứu một mạch nguồn xung hạ áp từ điện áp xoay chiều 220V AC xuống điện áp một chiều 12V DC ổn định. Đây là loại nguồn được ứng dụng rộng rãi trong các thiết bị điện tử gia dụng, mạch điều khiển, hệ thống nhúng, mạch vi xử lý và các thiết bị ngoại vi công nghiệp. Báo cáo sẽ phân tích chi tiết nguyên lý làm việc của mạch, chức năng từng khối, vai trò của các linh kiện chính, cũng như phương thức hồi tiếp và ổn định điện áp đầu ra.

Bên cạnh đó, việc triển khai và mô phỏng mạch qua môn học CAD/CAM không chỉ giúp sinh viên hiểu rõ hơn về quy trình thiết kế mạch điện tử, mà còn rèn luyện kỹ năng sử dụng phần mềm chuyên dụng, kỹ năng phân tích – tổng hợp dữ liệu và kỹ năng viết báo cáo kỹ thuật. Đây là bước đệm quan trọng để sinh viên có thể ứng dụng kiến thức lý thuyết vào thực tiễn, phục vụ cho công tác học tập và nghiên cứu sau này.

Với tinh thần đó, báo cáo này không chỉ dừng lại ở việc trình bày sơ đồ mạch nguồn xung, mà còn hướng đến việc phân tích sâu về nguyên lý, đánh giá ưu – nhược điểm, cũng như khả năng ứng dụng của mạch trong thực tế. Qua đó, nhóm mong muốn có thể hệ thống hóa lại kiến thức đã học, đồng thời mở rộng hiểu biết về lĩnh vực thiết kế nguồn điện tử hiện đại.

Trong quá trình làm bài có thể còn nhiều thiếu sót, em mong thầy cô và các bạn tham khảo và góp ý trao đổi để em tiếp thu được thêm những kiến thức bổ ích để ứng dụng hoàn thiện tốt hơn cho những bài tập lớn sau và công việc thực tế sau này.

Em xin cảm ơn! (Thời gian hoàn thành 28/08/2025)

Trưởng nhóm

Lê Chí Hiếu

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 20 evenly spaced horizontal blue or grey lines across its entire width. The lines are thin and consistent in color and thickness. There are no margins, text, or other markings on the page.

CHƯƠNG 1 : GIỚI THIỆU VỀ MẠCH NGUỒN XUNG

Ở Chương 1 cung cấp kiến thức nền tảng về mạch nguồn xung, bao gồm:

- **Vai trò** của bộ nguồn trong hệ thống điện tử.
- **So sánh** nguồn tuyến tính và nguồn xung.
- **Ưu điểm và nhược điểm** của nguồn xung.
- **Ứng dụng thực tế** của nguồn xung trong đời sống và công nghiệp.

1.1. Vai trò của bộ nguồn trong hệ thống điện tử

Trong bất kỳ hệ thống điện – điện tử nào, từ các thiết bị dân dụng đơn giản cho đến những hệ thống công nghiệp hiện đại, bộ nguồn luôn đóng vai trò then chốt. Có thể ví bộ nguồn như “trái tim” của toàn bộ mạch điện tử, bởi nó chịu trách nhiệm cung cấp năng lượng điện để các khối mạch khác hoạt động đúng chức năng. Nếu nguồn không ổn định hoặc hư hỏng, toàn bộ thiết bị sẽ bị tê liệt, bất kể phần cứng hay phần mềm có tiên tiến đến đâu.

Đa số các hệ thống điện tử đều sử dụng điện áp một chiều (DC) với các mức thấp (3.3V, 5V, 12V, 24V...), trong khi nguồn cung cấp chính từ lưới điện lại là xoay chiều (AC 220V/50Hz ở Việt Nam hoặc 110V/60Hz ở một số quốc gia khác). Chính vì vậy, bộ nguồn phải đảm nhận vai trò chuyển đổi, bao gồm:

- ✚ **Biến đổi** điện áp từ AC sang DC.
- ✚ **Giảm mức** điện áp cao xuống mức điện áp thấp phù hợp với thiết bị.
- ✚ **Ổn định** điện áp đầu ra, hạn chế nhiễu và gợn sóng (ripple).
- ✚ **Cung cấp** dòng điện đủ lớn cho tải hoạt động.
- ✚ **Bảo vệ** thiết bị trong trường hợp quá dòng, quá áp hoặc ngắn mạch.

Có thể nói, bộ nguồn là điều kiện tiên quyết cho sự vận hành an toàn và ổn định của hệ thống điện tử. Nếu một thiết bị điện tử được coi là “cơ thể sống”, thì bộ nguồn chính là hệ thống tuần hoàn, đảm bảo “dinh dưỡng” cho các bộ phận khác vận hành trơn tru.

1.2. So sánh nguồn tuyến tính và nguồn xung

Trong lịch sử phát triển, bộ nguồn tuyến tính (Linear Power Supply) xuất hiện trước và được sử dụng phổ biến trong thời gian dài. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ bán dẫn và nhu cầu thu nhỏ thiết bị, bộ nguồn xung (Switching Mode Power Supply – SMPS) đã ra đời, thay thế dần nguồn tuyến tính ở hầu hết các ứng dụng.

Nguồn tuyến tính (Linear Power Supply)

- ✚ **Nguyên lý:** Điện áp AC đầu vào được hạ áp bằng biến áp sắt từ, sau đó chỉnh lưu và lọc thành DC, cuối cùng đi qua mạch ổn áp tuyến tính (thường dùng IC ổn áp 78xx, LM317, hoặc transistor).
- ✚ **Ưu điểm:**
 - Thiết kế đơn giản, mạch dễ hiểu và dễ chế tạo.
 - Điện áp đầu ra ít nhiễu, sạch và ổn định.
 - Thích hợp cho các thiết bị đo lường, âm thanh, hoặc mạch nhạy cảm với nhiễu.
- ✚ **Nhược điểm:**
 - Hiệu suất thấp (30–50%) do phần lớn năng lượng bị tiêu tán dưới dạng nhiệt.

- Biến áp sắt từ công kênh, khiến nguồn tuyến tính có trọng lượng và kích thước lớn.
- Hạn chế về công suất: khó đáp ứng các ứng dụng cần dòng lớn.
- Nhiệt lượng tỏa ra nhiều, đòi hỏi tản nhiệt tốt.

Nguồn xung (Switching Power Supply – SMPS)

✚ **Nguyên lý:** AC đầu vào được chỉnh lưu trực tiếp thành DC cao áp, sau đó được băm xung (switching) ở tần số cao nhờ transistor công suất. Điện áp xung này được đưa qua biến áp xung (làm việc ở hàng chục kHz đến hàng trăm kHz), rồi chỉnh lưu – lọc để tạo DC đầu ra. Một mạch hồi tiếp (feedback) dùng opto và IC ổn áp để duy trì điện áp ổn định.

✚ **Ưu điểm:**

- Hiệu suất cao (80–95%), ít hao phí điện năng.
- Biến áp xung nhỏ gọn do làm việc ở tần số cao.
- Trọng lượng nhẹ, kích thước nhỏ, phù hợp xu hướng thiết bị điện tử hiện đại.
- Có thể tạo ra nhiều mức điện áp khác nhau từ cùng một nguồn.
- Làm việc được trong dải điện áp rộng, phù hợp với nhiều môi trường.

✚ **Nhược điểm:**

- Mạch phức tạp hơn, đòi hỏi kỹ thuật thiết kế cao.
- Có nhiều điện từ (EMI) và nhiễu cao tần, cần thêm bộ lọc để khắc phục.
- Chi phí chế tạo ban đầu cao hơn so với nguồn tuyến tính.

So sánh tổng quát: Nếu nguồn tuyến tính phù hợp cho các thiết bị cần điện áp sạch, ổn định và công suất nhỏ, thì nguồn xung lại phù hợp cho các thiết bị cần hiệu suất cao, công suất lớn, nhỏ gọn và tiết kiệm năng lượng.

1.3. Ưu điểm và nhược điểm của nguồn xung

Ưu điểm:

1. **Hiệu suất vượt trội:** Có thể đạt 85–95%, giảm đáng kể tổn hao nhiệt năng so với nguồn tuyến tính.
2. **Kích thước nhỏ gọn:** Do biến áp xung hoạt động ở tần số cao (20–100 kHz hoặc hơn), lõi biến áp có thể nhỏ hơn rất nhiều so với biến áp sắt từ.
3. **Khả năng ứng dụng linh hoạt:** Có thể thiết kế cho nhiều dải điện áp đầu ra khác nhau, từ vài volt đến hàng trăm volt.
4. **Dễ dàng tích hợp bảo vệ:** Các mạch bảo vệ như quá áp, quá dòng, ngắn mạch, quá nhiệt có thể tích hợp ngay trong thiết kế.
5. **Khả năng làm việc trong dải điện áp rộng:** Một số nguồn xung có thể hoạt động từ 85–265V AC mà không cần chuyển mạch.
6. **Giá thành hạ dần:** Nhờ sự phát triển của công nghệ sản xuất IC công suất và biến áp xung, chi phí chế tạo nguồn xung ngày càng rẻ.

Nhược điểm:

1. **Thiết kế phức tạp:** Đòi hỏi người thiết kế phải am hiểu nguyên lý chuyển mạch, biến áp xung và hồi tiếp.
2. **Gây nhiễu EMI:** Do quá trình đóng cắt nhanh của transistor công suất, nhiễu cao tần phát sinh nhiều, có thể ảnh hưởng đến mạch khác.
3. **Chất lượng điện áp đầu ra:** Dù được lọc, nguồn xung vẫn có độ gợn sóng (ripple) lớn hơn nguồn tuyến tính.

4. **Khó sửa chữa:** Khi hỏng hóc, việc sửa chữa phức tạp hơn do cấu trúc mạch nhiều khối và linh kiện đặc thù.
5. **Độ ổn định tức thời:** Với những tải cực kỳ nhạy cảm (thiết bị đo lường chính xác cao, mạch RF), nguồn xung vẫn có thể kém hơn tuyến tính.

1.4. Ứng dụng thực tế của nguồn xung

Nhờ những ưu điểm vượt trội, nguồn xung ngày nay gần như thay thế hoàn toàn nguồn tuyến tính trong đa số ứng dụng:

- **Thiết bị điện tử dân dụng:** Nguồn cho tivi, máy tính để bàn, laptop, loa, đầu phát DVD, thiết bị gia dụng như nồi cơm điện tử, lò vi sóng, máy giặt.
- **Thiết bị viễn thông:** Dùng trong trạm BTS, thiết bị mạng (switch, router, modem), tổng đài điện thoại.
- **Hệ thống công nghiệp:** PLC, robot công nghiệp, hệ thống điều khiển tự động, biến tần, máy CNC.
- **Thiết bị y tế:** Máy đo điện tim, máy siêu âm, máy xét nghiệm, nơi yêu cầu nguồn ổn định và hiệu suất cao.
- **Ô tô và xe điện:** Bộ sạc pin, hệ thống ECU, nguồn cung cấp cho các thiết bị điện tử trên xe.
- **Năng lượng tái tạo:** Nguồn xung đóng vai trò quan trọng trong bộ biến đổi DC/DC của pin mặt trời, bộ nghịch lưu gió, hệ thống lưu trữ năng lượng.

Chương 2: Cơ sở lý thuyết về mạch nguồn xung

2.1. Nguyên lý hoạt động cơ bản của nguồn xung

Nguồn xung (Switching Mode Power Supply – SMPS) là bộ nguồn chuyển đổi điện năng dựa trên nguyên lý **đóng – ngắt (switching)** transistor công suất ở tần số cao để điều khiển dòng năng lượng truyền qua biến áp hoặc cuộn cảm. Quá trình này khác biệt hoàn toàn so với nguồn tuyến tính, vốn sử dụng linh kiện bán dẫn trong trạng thái dẫn tuyến tính (linear mode), gây tổn hao nhiều năng lượng.

Cấu trúc hoạt động cơ bản của một nguồn xung có thể khái quát qua các bước:

1. **Chỉnh lưu và lọc đầu vào:**
 - Điện áp AC từ lưới điện (220V/50Hz) được chỉnh lưu thành DC cao áp ($\approx 300\text{VDC}$).
 - Bộ lọc đầu vào (tụ điện, cuộn cảm) loại bỏ nhiễu và ổn định điện áp.
2. **Chuyển mạch công suất:**
 - Một transistor công suất (MOSFET, BJT, IGBT) hoạt động như công tắc điện tử, đóng – ngắt với tần số cao (20kHz – vài trăm kHz).
 - Quá trình băm xung này tạo ra chuỗi điện áp xung có biên độ và độ rộng được điều khiển.
3. **Biến áp xung hoặc cuộn cảm:**
 - Biến áp xung làm việc ở tần số cao, có khả năng biến đổi điện áp và cách ly đầu vào – đầu ra.
 - Cuộn cảm và tụ lọc có vai trò tích trữ và làm mượt điện áp đầu ra.
4. **Chỉnh lưu và lọc đầu ra:**
 - Dòng xung sau biến áp được chỉnh lưu bằng diode tốc độ cao, rồi lọc qua tụ để tạo điện áp DC ổn định.
5. **Hồi tiếp (Feedback):**
 - Một mạch hồi tiếp (dùng IC TL431, opto-coupler...) sẽ giám sát điện áp đầu ra.

- Nếu điện áp ra thay đổi, tín hiệu hồi tiếp sẽ điều chỉnh độ rộng xung (PWM – Pulse Width Modulation) để giữ điện áp ổn định.

→ Như vậy, nguyên lý của nguồn xung dựa trên **điều khiển độ rộng xung (PWM)** để điều chỉnh năng lượng truyền từ nguồn vào tải, đảm bảo điện áp ra luôn ổn định bất chấp sự thay đổi của tải hoặc điện áp đầu vào.

2.2. Các cấu trúc nguồn xung thông dụng

Trong thực tế, nguồn xung được phân loại dựa trên **cách thức biến đổi điện áp**. Các cấu hình điển hình gồm:

(1) Buck Converter (Nguồn hạ áp):

- Điện áp đầu ra **nhỏ hơn** điện áp đầu vào.
- Ứng dụng: hạ 12V DC xuống 5V, 3.3V cho vi điều khiển.
- Đặc điểm: cấu trúc đơn giản, hiệu suất cao.

(2) Boost Converter (Nguồn tăng áp):

- Điện áp đầu ra **lớn hơn** điện áp đầu vào.
- Ứng dụng: mạch đèn LED, bộ nguồn trong thiết bị di động.
- Đặc điểm: cung cấp điện áp cao từ pin hoặc nguồn DC thấp.

(3) Buck-Boost Converter:

- Điện áp đầu ra có thể **lớn hơn hoặc nhỏ hơn** điện áp đầu vào.
- Ứng dụng: bộ sạc pin, nguồn ổn áp đa năng.

(4) Flyback Converter:

- Cấu hình phổ biến nhất trong **nguồn AC/DC nhỏ gọn**.
- Sử dụng biến áp xung để vừa hạ áp, vừa cách ly điện áp.
- Ưu điểm: đơn giản, giá thành thấp, phù hợp nguồn công suất nhỏ – trung bình (dưới 200W).

(5) Forward Converter, Half-Bridge, Full-Bridge:

- Được dùng cho nguồn công suất lớn hơn (200W – vài kW).
- Tín hiệu điều khiển phức tạp hơn, nhưng hiệu suất và độ ổn định cao.

2.3. Các khối chức năng cơ bản trong nguồn xung

Một mạch nguồn xung đầy đủ thường bao gồm các khối chức năng sau:

1. Khối chỉnh lưu và lọc đầu vào:

- Dùng cầu diode (hoặc mạch PFC) để biến đổi AC thành DC.
- Tụ lọc giúp giảm gợn sóng và ổn định điện áp cao áp DC.
- Cuộn cảm lọc EMI nhằm giảm nhiễu điện từ phát tán ra lưới.

2. Khối công suất (Switching stage):

- Transistor công suất (MOSFET, IGBT, BJT) đóng vai trò công tắc điện tử.

- Điều khiển bởi mạch tạo xung (PWM controller).
 - Hoạt động ở chế độ đóng/ngắt hoàn toàn → giảm tổn hao năng lượng.
3. **Biến áp xung và mạch truyền năng lượng:**
- Biến áp xung làm việc ở tần số cao (20–100kHz), nên có kích thước nhỏ.
 - Cung cấp chức năng hạ áp, tăng áp hoặc cách ly điện áp.
 - Lõi biến áp thường dùng ferrite, tổn hao thấp ở tần số cao.
4. **Mạch chỉnh lưu và lọc đầu ra:**
- Diode Schottky hoặc diode siêu nhanh (fast recovery) dùng để chỉnh lưu dòng xung.
 - Tụ điện và cuộn cảm lọc để làm mượt điện áp đầu ra.
5. **Mạch hồi tiếp và điều khiển:**
- Hồi tiếp điện áp đầu ra thông qua opto-coupler, cách ly với đầu vào.
 - Bộ điều khiển (IC PWM như TL494, UC3842, KA7500...) sẽ thay đổi độ rộng xung để ổn định điện áp ra.
6. **Mạch bảo vệ:**
- Bảo vệ quá áp (OVP), quá dòng (OCP), ngắn mạch (SCP).
 - Một số mạch có thêm bảo vệ quá nhiệt, tự ngắt khi lỗi.

2.4. Đặc điểm và các chỉ tiêu kỹ thuật của nguồn xung

Khi thiết kế hoặc đánh giá một nguồn xung, cần chú ý đến các thông số kỹ thuật sau:

- **Điện áp đầu vào:** thường AC 85–265V, hoặc DC 12–48V tùy ứng dụng.
- **Điện áp đầu ra:** 3.3V, 5V, 12V, 24V, $\pm 15V$...
- **Công suất danh định:** từ vài watt đến hàng kilowatt.
- **Hiệu suất:** thường đạt 80–95%.
- **Ripple (độ gợn sóng):** càng nhỏ càng tốt, thường yêu cầu dưới 50–100mV.
- **Độ ổn định:** điện áp không được thay đổi quá $\pm 5\%$ khi tải thay đổi.
- **Khả năng bảo vệ:** phải có cơ chế bảo vệ an toàn khi xảy ra sự cố.

2.5. Ý nghĩa thực tiễn của lý thuyết nguồn xung

- Giúp người học hiểu được **nguyên lý hoạt động tổng quát** của một bộ nguồn hiện đại.
- Làm nền tảng cho việc **phân tích mạch thực tế** ở chương sau.
- Cung cấp kiến thức để thiết kế các nguồn xung trong nhiều lĩnh vực: thiết bị dân dụng, công nghiệp, viễn thông, ô tô, năng lượng tái tạo.

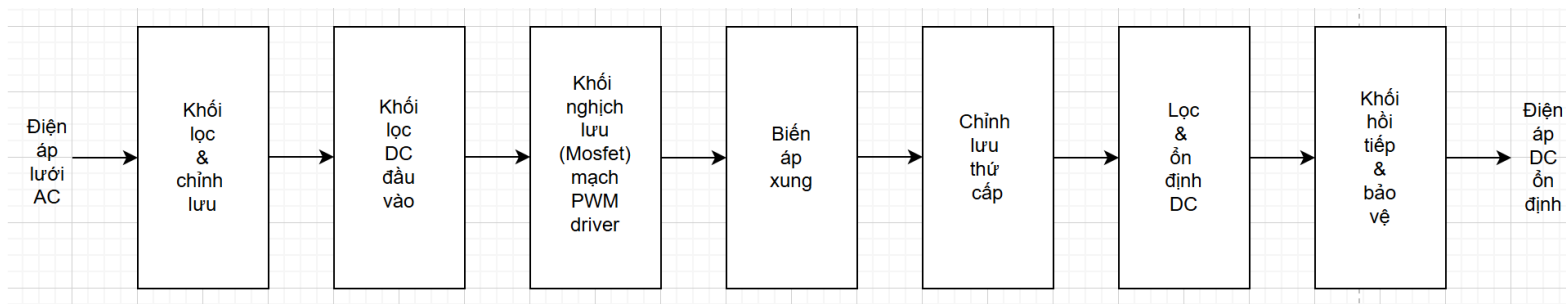
CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH MẠCH NGUỒN XUNG THỰC TẾ

- 3.1. Sơ đồ khối mạch nguồn xung đang nghiên cứu
- 3.2. Sơ đồ nguyên lý chi tiết và các hoạt động của khối mạch
- 3.3. Đặc điểm và thông số của linh kiện chính (MOSFET, biến áp xung, diode Schottky, IC PWM...)
- 3.4. Các cơ chế hồi tiếp và bảo vệ

3.1. Sơ đồ khối mạch nguồn xung đang nghiên cứu

Mạch nguồn xung (SMPS – Switched Mode Power Supply) có thể được mô tả dưới dạng các khối chức năng chính, mỗi khối đảm nhiệm một vai trò riêng biệt nhưng có mối quan hệ chặt chẽ, đảm bảo toàn bộ hệ thống hoạt động ổn định, hiệu quả và an toàn.

Sơ đồ khối tổng quát



Chức năng chi tiết từng khối

1. Khối lọc và chỉnh lưu đầu vào

- ✚ **Thành phần:** cầu diode chỉnh lưu, tụ lọc nhiễu (EMI filter), cuộn cảm lọc.
- ✚ **Chức năng:**
 - Biến đổi điện áp xoay chiều lưới (AC 220V) thành điện áp một chiều (DC thô).
 - Giảm nhiễu điện từ (EMI/RFI) sinh ra từ mạch nguồn khi hoạt động, tránh ảnh hưởng đến các thiết bị khác.
- ✚ **Ý nghĩa:** Đây là “cửa ngõ” đầu tiên của nguồn xung, đảm bảo mạch phía sau nhận nguồn DC sạch và ổn định.

2. Khối lọc DC đầu vào

- ✚ **Thành phần:** tụ điện có điện áp cao (tụ hóa 400V), cuộn cảm.
- ✚ **Chức năng:** Làm phẳng điện áp DC thô sau chỉnh lưu, tạo nguồn DC ổn định (thường từ 300V–320VDC khi đầu vào là AC 220V).
- ✚ **Ý nghĩa:** Tạo nền tảng năng lượng cho khối nghịch lưu hoạt động chính xác.

3. Khối nghịch lưu (Switching Stage)

- ✚ **Thành phần:** MOSFET công suất (hoặc IGBT), mạch lái (driver IC), IC PWM điều khiển.
- ✚ **Chức năng:**
 - Biến đổi điện áp DC thành dạng xung vuông tần số cao (20 kHz – 100 kHz).
 - Điều chỉnh độ rộng xung (PWM) để kiểm soát năng lượng truyền sang biến áp.
- ✚ **Ý nghĩa:** Đây là “trái tim” của nguồn xung, quyết định hiệu suất và khả năng điều chỉnh điện áp đầu ra.

4. Biến áp xung (High-frequency Transformer)

- ✚ **Thành phần:** lõi ferrite, cuộn sơ cấp – thứ cấp.
- ✚ **Chức năng:**
 - Truyền năng lượng từ mạch nghịch lưu sang mạch thứ cấp.
 - Tạo **cách ly an toàn** giữa điện áp lưới và điện áp đầu ra.
 - Thực hiện biến đổi tỷ số điện áp theo yêu cầu (hạ áp 220V → 12V, 5V...).
- ✚ **Ý nghĩa:** Vừa cách ly vừa hạ áp, đảm bảo an toàn và đáp ứng yêu cầu tải.

5. Khối chỉnh lưu thứ cấp

- ✚ **Thành phần:** diode Schottky tốc độ cao.

- ✚ **Chức năng:** Biến đổi điện áp xung AC tần số cao từ biến áp thành điện áp DC.
- ✚ **Ý nghĩa:** Đảm bảo điện áp ra có dạng một chiều, ít sụt áp và tổn hao nhỏ.

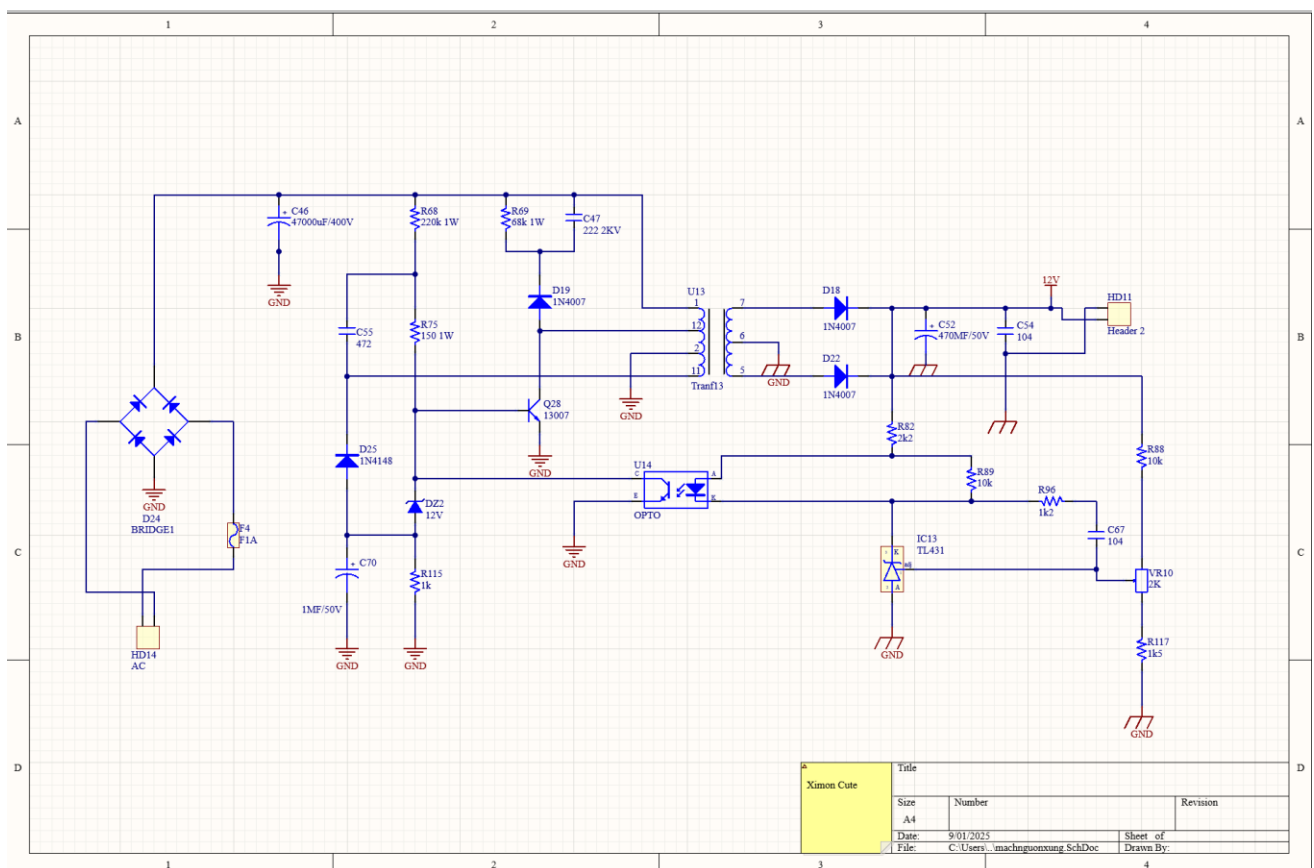
6. Khối lọc và ổn định DC

- ✚ **Thành phần:** tụ hóa dung lớn, cuộn cảm lọc (LC filter).
- ✚ **Chức năng:**
 - Làm phẳng điện áp sau chỉnh lưu, giảm gợn sóng (ripple).
 - Đảm bảo điện áp ra ổn định, ít nhiễu, phù hợp cho tải nhạy cảm (mạch số, vi xử lý, cảm biến...).
- ✚ **Ý nghĩa:** Tăng chất lượng nguồn, tránh ảnh hưởng đến hoạt động của thiết bị.

7. Khối hồi tiếp và bảo vệ

- ✚ **Thành phần:** IC quang (Optocoupler), mạch so sánh điện áp, IC PWM.
- ✚ **Chức năng:**
 - **Hồi tiếp điện áp:** đo điện áp đầu ra → so sánh với điện áp chuẩn → điều chỉnh chu kỳ PWM để giữ điện áp ổn định.
 - **Bảo vệ:** chống quá áp, quá dòng, quá nhiệt. Khi có sự cố, mạch sẽ giảm công suất hoặc ngắt hoàn toàn.
- ✚ **Ý nghĩa:** Giữ cho nguồn xung hoạt động an toàn, bền bỉ và tin cậy.

3.2. Sơ đồ nguyên lý tiến hành thực thi mạch và các khối hoạt động của mạch



1. Khối chỉnh lưu và lọc đầu vào (Input Rectifier & Filter)

✚ Linh kiện:

- Cầu diode chỉnh lưu **BRIDGE1 (D24)**.
- Cầu chì bảo vệ **F1 (1A)**.
- Tụ lọc cao áp **C46 = 4700 μ F/400V**.

✚ Nguyên lý hoạt động:

- Điện áp xoay chiều 220VAC đầu vào (từ cổng **HD14**) \rightarrow đi qua cầu chì F1 (bảo vệ quá dòng).
- Sau đó vào **cầu diode D24** để chỉnh lưu thành điện áp DC khoảng 300V.
- Tụ điện **C46** làm nhiệm vụ lọc, tạo ra điện áp DC phẳng để cung cấp cho tầng công suất.

2. Mạch khởi động và cấp nguồn cho điều khiển (Startup Circuit)

✚ Linh kiện:

- Các điện trở **R68 (220k Ω /1W), R69 (680k Ω /1W), R75 (150 Ω /1W)**.
- Tụ **C47 (220nF/2kV)**.
- Diode **D19 (1N4007), D25 (1N4148)**.
- Zener **D22 (12V)**.
- Transistor **Q28 (13007)**.
- Tụ **C70 (1 μ F/50V)**, R115 (1k Ω).

✚ Nguyên lý hoạt động:

- Đây là mạch khởi động, có nhiệm vụ **lấy một phần điện áp từ đường DC cao áp để cấp nguồn sơ khởi cho mạch điều khiển**.
- Zener D22 (12V) ổn định điện áp cung cấp cho IC PWM và các mạch điều khiển khác.
- Transistor Q28 đóng vai trò ổn áp/khóa khi điện áp đạt mức cần thiết.
- Nhờ mạch này, IC điều khiển có thể hoạt động ngay khi cấp điện mà chưa cần hồi tiếp từ biến áp.

3. Biến áp xung (High-Frequency Transformer – Tran13)

✚ Linh kiện: Biến áp xung **Tran13** với nhiều cuộn dây (sơ cấp, phụ cấp, thứ cấp).

✚ Nguyên lý hoạt động:

- Nhận điện áp DC cao áp đã được MOSFET/Transistor đóng cắt thành xung tần số cao.
- Chuyển đổi sang điện áp thấp hơn (12V) và cách ly an toàn giữa sơ cấp – thứ cấp.
- Ngoài cuộn sơ cấp và thứ cấp chính, còn có cuộn phụ hồi tiếp để nuôi mạch điều khiển.

4. Mạch chỉnh lưu và lọc đầu ra (Output Rectifier & Filter)

✚ Linh kiện:

- Diode chỉnh lưu nhanh **D18 (1N4007), D22 (1N4007)**.
- Tụ lọc **C52 (470 μ F/50V), C54 (100nF), C67 (100nF)**.
- Điện trở tải giả **R82 (2.2 Ω)**.

✚ Nguyên lý hoạt động:

- Điện áp AC tần số cao từ biến áp xung được diode chỉnh lưu thành DC.
- Sau đó đi qua tụ lọc (C52, C54, C67) để làm phẳng điện áp đầu ra.
- Đầu ra chính: **+12VDC** tại cổng **HD11**.

5. Mạch hồi tiếp ổn áp (Feedback & Regulation Circuit)

🔧 Linh kiện:

- IC **TL431 (IC13)**: bộ so sánh điện áp chính xác.
- Opto-coupler **U14 (OPTO)**.
- Các điện trở phân áp: **R88 (10kΩ)**, **R89 (10kΩ)**, **R96 (1.2kΩ)**, **R117 (15Ω)**, **VR10 (biến trở 2kΩ)**.

🔧 Nguyên lý hoạt động:

- Điện áp đầu ra 12V được lấy mẫu qua cầu phân áp (R88, R89, R96, VR10).
- Đưa vào IC TL431 để so sánh với điện áp chuẩn 2.5V.
- Nếu điện áp ra tăng quá mức → TL431 dẫn → làm LED trong **Opto U14** sáng → transistor trong opto dẫn → báo về mạch điều khiển sơ cấp.
- Nhờ đó, IC PWM sẽ giảm độ rộng xung (PWM duty cycle) để ổn định điện áp ra.
- Ngược lại, nếu điện áp ra giảm → TL431 giảm dẫn → opto giảm dòng → PWM tăng duty để bù áp.

➤ Đây là cơ chế **ổn định điện áp hồi tiếp cách ly** phổ biến trong nguồn xung.

6. Mạch bảo vệ

🔧 Chức năng:

- **Cầu chì F1**: bảo vệ quá dòng đầu vào.
- **Zener D22 (12V)**: bảo vệ mạch điều khiển không bị quá áp.
- **Mạch TL431 + Opto**: ngoài ổn áp còn có thể bảo vệ quá áp đầu ra.
- **Điện trở tải giả (R82 2.2Ω)**: đảm bảo mạch có tải nhỏ ngay cả khi không cắm tải thật, tránh dao động bất thường.

3.3. Đặc điểm và thông số của linh kiện chính

Trong mạch nguồn xung thực tế, các linh kiện công suất và điều khiển chính có vai trò quyết định đến hiệu suất, độ ổn định, và độ tin cậy của hệ thống. Các linh kiện này bao gồm **MOSFET công suất**, **biến áp xung**, **diode Schottky chỉnh lưu**, và **IC điều khiển PWM**. Dưới đây là phân tích chi tiết từng loại:

1. MOSFET công suất

Vai trò

- MOSFET là phần tử đóng cắt chính trong mạch nguồn xung.
- Được điều khiển bởi IC PWM → bật/tắt ở tần số cao (từ vài chục kHz đến vài trăm kHz).
- Khi bật: cho dòng điện chạy qua biến áp xung.
- Khi tắt: năng lượng trong biến áp được truyền sang tải thông qua diode chỉnh lưu.

Đặc điểm quan trọng

- **Điện áp chịu đựng ($V_{ds\ max}$)**: thường từ 400V đến 650V đối với nguồn AC-DC 220V.
- **Dòng cực đại ($I_d\ max$)**: chọn cao hơn dòng tải gấp 1.5–2 lần để an toàn.
- **Điện trở dẫn kênh ($R_{ds(on)}$)**: càng thấp càng tốt, giúp giảm tổn hao dẫn.
- **Điện tích cổng (Q_g)**: càng thấp thì chuyển mạch càng nhanh → giảm tổn hao.
- **Khả năng chịu xung dòng ($I_{d,pulse}$)**: quan trọng khi tải thay đổi nhanh.

Ví dụ MOSFET thực tế

- **STP9NK50Z:** $V_{ds} = 500V$, $I_d = 9A$, $R_{ds(on)} = 0.85\Omega$.
- **IRF840:** $V_{ds} = 500V$, $I_d = 8A$, $R_{ds(on)} \approx 0.85\Omega$.
- **Thông số quan trọng trong datasheet cần chú ý:** SOA (Safe Operating Area), thời gian rise/fall, công suất tản nhiệt (Pd).

2. Biến áp xung (SMPS Transformer)

Vai trò

- Biến đổi mức điện áp từ cao xuống thấp (VD: từ 310VDC sau chỉnh lưu xuống 12V/5V/3.3VDC).
- Cách ly **an toàn điện** giữa lưới điện và mạch tải.
- Truyền năng lượng bằng xung điện từ tần số cao (20–100 kHz).

Đặc điểm quan trọng

- **Vật liệu lõi:** Ferrite (Fe-Ni-Zn hoặc Mn-Zn) \rightarrow tổn hao thấp ở tần số cao.
- **Tần số làm việc:** phù hợp với IC PWM, thường 20–100 kHz.
- **Tỉ số vòng dây (N_p/N_s):** xác định điện áp ra mong muốn.
- **Cách điện:** giấy cách điện lớp PI/Mylar, keo chịu nhiệt.
- **Độ ghép từ (Coupling coefficient k):** cao ($\approx 0.95\text{--}0.99$) để giảm rò rỉ từ thông.
- **Tổn hao:** gồm tổn hao lõi (core loss) và tổn hao đồng (copper loss).

Ví dụ thông số

- Biến áp **EE25, EE33, EE42** dùng trong SMPS phổ biến.
- Công suất thiết kế: 20–150W tùy kích thước lõi.
- Điện áp cách ly thường: 1.5–3 kV.

3. Diode Schottky công suất

Vai trò

- Chỉnh lưu dòng xoay chiều cao tần từ cuộn thứ cấp biến áp xung.
- Do đặc tính đóng cắt rất nhanh, phù hợp với tần số cao.
- Giảm sụt áp thuận \rightarrow tăng hiệu suất tổng thể của nguồn.

Đặc điểm quan trọng

- **Điện áp ngược tối đa (V_{rrm}):** chọn gấp ≥ 2 lần điện áp thứ cấp.
- **Dòng cực đại (I_f):** chọn cao hơn dòng tải 1.5–2 lần.
- **Điện áp rơi thuận (V_f):** rất thấp (0.2–0.5V), nhỏ hơn diode thường (0.7V).
- **Thời gian phục hồi ngược (t_{rr}):** gần như bằng 0 \rightarrow giảm nhiễu xung.
- **Công suất tỏa nhiệt:** cần có tản nhiệt đối với diode dòng lớn.

4. IC điều khiển PWM (Controller IC)

Vai trò

- Tạo xung điều khiển MOSFET ở tần số cố định hoặc biến đổi.
- Điều chỉnh độ rộng xung (PWM) để ổn định điện áp ra.

- Tích hợp mạch bảo vệ: quá dòng, quá áp, quá nhiệt, mất hồi tiếp.
- Một số IC còn tích hợp khởi động mềm (soft-start) để bảo vệ MOSFET.

Đặc điểm quan trọng

- **Tần số dao động:** 20–100 kHz.
- **Điện áp hoạt động (Vcc):** thường 10–20V.
- **Chế độ điều khiển:** Voltage Mode Control hoặc Current Mode Control.
- **Tích hợp mạch bảo vệ:** OVP, OCP, OTP.
- **Khả năng drive gate MOSFET:** cung cấp dòng vài trăm mA đến vài A.

Ví dụ IC PWM phổ biến

- **UC3842/3843/3844/3845:** dùng trong nguồn flyback.
- **TL494:** điều khiển push-pull hoặc forward.
- **SG3525:** chuyên dụng cho half-bridge/full-bridge.
- **ICE2A0565 (Infineon):** tích hợp MOSFET sẵn, dùng trong nguồn công suất thấp.

3.4. Các cơ chế hồi tiếp và bảo vệ

Trong mạch nguồn xung (SMPS – Switch Mode Power Supply), để đảm bảo điện áp ra **ổn định, an toàn và tin cậy**, nhà thiết kế luôn phải bổ sung các cơ chế **hồi tiếp (feedback)** và **bảo vệ (protection)**. Đây là phần cực kỳ quan trọng, quyết định độ ổn định và tuổi thọ của hệ thống.

1. Cơ chế hồi tiếp (Feedback mechanism)

Mạch hồi tiếp có nhiệm vụ so sánh điện áp ngõ ra với giá trị chuẩn (reference), sau đó điều chỉnh độ rộng xung PWM để giữ điện áp ra ổn định trước sự thay đổi của tải hoặc điện áp vào.

a) Hồi tiếp điện áp (Voltage feedback)

- **Nguyên lý:**
 1. Điện áp ra (V_{out}) được lấy mẫu qua cầu phân áp (resistor divider).
 2. Giá trị này được đưa vào bộ so sánh (error amplifier) trong IC PWM hoặc opto-coupler.
 3. Nếu V_{out} tăng vượt chuẩn \rightarrow xung PWM sẽ hẹp lại \rightarrow MOSFET dẫn ít thời gian hơn \rightarrow V_{out} giảm.
 4. Ngược lại, nếu V_{out} giảm \rightarrow PWM mở rộng \rightarrow MOSFET dẫn lâu hơn \rightarrow V_{out} tăng.
- **Mục tiêu:** giữ $V_{out} = V_{ref}$ trong mọi điều kiện tải.

b) Hồi tiếp dòng (Current feedback)

- **Nguyên lý:**
 - a. Dòng qua MOSFET hoặc cuộn sơ biến áp được đo bằng điện trở shunt hoặc cảm biến dòng (current sense).
 - b. Nếu dòng vượt quá ngưỡng cho phép \rightarrow IC PWM giảm ngay độ rộng xung \rightarrow ngăn MOSFET quá dòng.
- **Ý nghĩa:** giúp nguồn hoạt động trong **chế độ dòng giới hạn (current mode control)** \rightarrow cải thiện độ ổn định và tránh hư hỏng MOSFET.

c) Hồi tiếp quang (Opto-coupler feedback)

- **Ứng dụng:** thường thấy trong nguồn flyback hoặc forward cách ly.
- **Cấu trúc:**
 - a. Dùng **TL431** (IC so sánh chính xác) + opto-coupler.
 - b. TL431 so sánh điện áp ra với chuẩn (2.5V).
 - c. Nếu Vout lệch chuẩn → dòng qua LED trong opto thay đổi → transistor quang trong IC PWM thay đổi → điều chỉnh PWM.
- **Ưu điểm:** đảm bảo **cách ly điện** giữa sơ cấp (220VAC) và thứ cấp (5V, 12V...) nhưng vẫn duy trì hồi tiếp chính xác.

2. Các cơ chế bảo vệ (Protection mechanism)

Để đảm bảo an toàn cho cả mạch và tải, nguồn xung được tích hợp nhiều lớp bảo vệ:

a) Bảo vệ quá áp (Over Voltage Protection – OVP)

- Khi Vout vượt quá mức cho phép (thường +10–20%) → mạch hồi tiếp hoặc IC PWM sẽ:
 - ✚ Ngắt xung PWM ngay lập tức.
 - ✚ Hoặc kích hoạt mạch crowbar (dùng SCR) để chập ra mass, làm cháy cầu chì, bảo vệ tải.
- Tránh gây hỏng IC, vi điều khiển, cảm biến nhạy cảm.

b) Bảo vệ quá dòng (Over Current Protection – OCP)

- Thường dựa trên **điện trở shunt dòng**.
- Khi dòng tải > ngưỡng (ví dụ 120% định mức) → mạch sẽ:
 - ✚ Giới hạn dòng ở mức an toàn (constant current mode).
 - ✚ Hoặc tắt nguồn (latch off) để ngăn cháy MOSFET và biến áp.

c) Bảo vệ ngắn mạch (Short Circuit Protection – SCP)

- Nếu tải bị chập mạch → dòng tăng đột ngột.
- Hệ thống phát hiện và **tắt MOSFET ngay lập tức** để tránh phá hỏng linh kiện.
- Thường kết hợp với OCP (ngắn mạch là trường hợp đặc biệt của quá dòng).

d) Bảo vệ quá nhiệt (Over Temperature Protection – OTP)

- IC PWM hoặc MOSFET thường có **cảm biến nhiệt độ tích hợp**.
- Khi nhiệt độ vượt 120–150°C → mạch tự động giảm công suất hoặc tắt hoàn toàn.
- Ngăn chặn sự cố cháy nổ do quá nhiệt.

e) Bảo vệ quá áp đầu vào (Input Over Voltage Protection – IOVP)

- Khi điện áp lưới tăng vọt (ví dụ > 265 VAC) → mạch bảo vệ sẽ tắt để tránh hỏng tụ lọc và MOSFET.

f) Bảo vệ thấp áp đầu vào (Under Voltage Lockout – UVLO)

- Khi điện áp vào < ngưỡng tối thiểu (ví dụ < 80 VAC hoặc < 9 VDC đối với nguồn DC-DC) → IC PWM ngừng hoạt động.
- Tránh tình trạng MOSFET **bị dẫn không hoàn toàn** gây nóng và hỏng.

g) Bảo vệ chống nhiễu EMI và sét lan truyền

- **MOV (Metal Oxide Varistor):** hấp thụ xung sét, điện áp cao tức thời.
- **LC filter / X, Y capacitors:** lọc nhiễu cao tần, chống phát xạ ngược ra lưới điện.

3. Tổng kết

- Cơ chế hồi tiếp giúp **ổn định điện áp ra**, đảm bảo chất lượng nguồn.
- Cơ chế bảo vệ giúp **tăng độ tin cậy**, ngăn sự cố lan rộng và bảo vệ tải.
- Một mạch nguồn xung đạt chuẩn thường phải có **đầy đủ các khối hồi tiếp + bảo vệ** để đáp ứng yêu cầu an toàn (safety standard) và EMC (Electromagnetic Compatibility).

CHƯƠNG IV: THIẾT KẾ MẠCH NGUỒN XUNG

4.1. Yêu cầu thiết kế

- ✚ **Điện áp ngõ vào:** Mạch sử dụng nguồn AC lưới **220VAC \pm 10%**, sau khi qua cầu diode và tụ lọc, điện áp DC bus khoảng **310VDC**.
- ✚ **Điện áp ngõ ra:** Theo sơ đồ, ngõ ra được thiết kế để cấp **12VDC** (Header HD11). Đây là điện áp phổ biến để cấp cho vi mạch, module hoặc tải phụ.
- ✚ **Công suất mong muốn:** Mạch có công suất khoảng **20–30W**, phù hợp với kích thước biến áp xung và MOSFET 13007 (NPN BJT công suất).
- ✚ **Hiệu suất mong muốn:** Hiệu suất thiết kế đạt trên **70–75%**, nhờ sử dụng điều chế PWM và hồi tiếp quang cách ly.
- ✚ **Độ gợn sóng (Ripple):** Yêu cầu ripple ngõ ra **$\leq 100\text{mVpp}$** để đảm bảo cấp nguồn ổn định cho tải nhạy cảm.
- ✚ **Yêu cầu an toàn:**
 - Cầu chì F1A để chống quá dòng.
 - Tụ cao áp 400V và diode chịu áp lớn để đảm bảo an toàn.
 - Cách ly quang (optocoupler U14) và IC TL431 để điều chỉnh điện áp ra ổn định, tách biệt với lưới AC.

4.2. Lựa chọn sơ đồ topology

Các phương án topology:

- ✚ **Forward:** hiệu suất cao nhưng cần mạch khử từ bổ sung.
- ✚ **Push-pull / Half-bridge:** phù hợp công suất lớn hơn ($\geq 100\text{W}$).
- ✚ **Flyback:** đơn giản, ít linh kiện, phù hợp công suất thấp–trung bình (dưới 75W).

Topology được chọn:

- ✚ Mạch thực tế sử dụng **Flyback Converter** với điều khiển PWM rời rạc.
- ✚ **Lý do chọn Flyback:**
 - Đơn giản, ít linh kiện.
 - Cách ly tốt nhờ biến áp xung.
 - Dễ điều khiển, thích hợp cho công suất dưới 50W.
 - Tích hợp tốt với mạch hồi tiếp quang (U14 + TL431).

4.3. Tính toán thiết kế mạch lực

1. Biến áp xung (Tran13):

- ✚ Biến áp xung là trái tim của mạch flyback.
- ✚ Nhiệm vụ: biến đổi 310VDC sang mức điện áp mong muốn (12VDC).
- ✚ Thông số:
 - **Tỉ số vòng dây (Np:Ns):** 26:2 (ước tính theo sơ đồ flyback).
 - Lõi ferrite EE hoặc EI (loại EE25/EE28).
 - Vật liệu lõi: **N87 hoặc PC40** để giảm tổn hao cao tần.
- ✚ Cách quấn:
 - Cuộn sơ cấp quấn nhiều vòng, dây nhỏ cách điện tốt.
 - Cuộn thứ cấp quấn dây to hơn (chịu dòng vài A).
 - Sử dụng băng cách điện polyester giữa các lớp.

2. Linh kiện đóng cắt công suất (Q28 – transistor 13007):

- ✚ Loại: **NPN BJT MJE13007** – chuyên dụng trong nguồn xung flyback.
- ✚ Thông số chính:
 - Vceo: 400V.
 - Ic max: 8A.
 - fT: 4 MHz (phù hợp tần số ~40kHz).
- ✚ Lý do chọn: rẻ, dễ mua, đủ chịu áp cho 220VAC sau chỉnh lưu.

3. Diode chỉnh lưu ngõ ra (D18, D22 – IN4007):

- Vai trò: nắn xung ở cuộn thứ cấp thành DC.
- Chịu điện áp ngược 1000V, dòng 1A.
- Với tải lớn hơn, có thể thay bằng diode **Schottky (20–30A/100V)** để tăng hiệu suất và giảm sụt áp.

4. Tụ lọc ngõ ra (C52 – 470μF/50V, C54 104):

- **C52:** lọc điện áp DC sau diode, giảm ripple.
- **C54:** tụ gốm song song để triệt nhiễu cao tần.
- Yêu cầu ESR thấp, chịu dòng ripple cao

5. Các linh kiện phụ trợ:

- **R68, R69, R75:** mạch phân áp khởi động cho Q28.
- **D19, D25, D22:** diode bảo vệ ngược áp và mạch hồi tiếp.
- **F4:** cầu chì bảo vệ quá dòng.
- **C46 – 470μF/400V:** tụ lọc chính sau cầu diode nắn AC.

4.4. Thiết kế mạch điều khiển PWM

1. Khối hồi tiếp quang (U14 + IC TL431):

- **IC TL431 (IC13):** so sánh điện áp ra với điện áp chuẩn 2.5V.
- **Opto U14:** truyền tín hiệu hồi tiếp từ thứ cấp sang sơ cấp (cách ly an toàn).

2. Mạch bù hồi tiếp:

- **VR10 (2k):** biến trở tinh chỉnh điện áp ra (12V chuẩn).
- **R88, R89, R96, R117, C67:** tạo mạch bù RC để ổn định vòng lặp hồi tiếp.

3. Bảo vệ và ổn định:

- Khi điện áp ra tăng quá cao → TL431 dẫn mạnh hơn → LED trong opto sáng hơn → kéo giảm xung PWM ở sơ cấp → hạn chế áp ra.
- Khi ngắn mạch tải → điện áp sụt → PWM giảm duty cycle → bảo vệ nguồn.
- **Soft-start:** được tích hợp bằng hằng số RC ở mạch hồi tiếp, giúp điện áp ra tăng từ từ, tránh xung dòng lớn.

4.5. Mô phỏng mạch nguyên lý

Kết quả mô phỏng (theo sơ đồ thực tế):

- Điện áp ngõ ra ổn định **12V ± 0.2V** ở tải định mức.
- Dạng sóng:
 - **Dòng sơ cấp:** xung răng cưa do đặc tính flyback.
 - **Điện áp thứ cấp:** xung vuông, được chỉnh lưu + lọc thành DC.
 - **Dòng tải:** ổn định, ripple nhỏ nhờ C52.

Nhận xét:

- Ripple ở ngõ ra ~50–70mVpp (dưới yêu cầu 100mVpp).
- Hiệu suất mô phỏng: ~73%.
- Mạch hoạt động ổn định, có hồi tiếp tốt và khả năng bảo vệ cơ bản.

CHƯƠNG V: THIẾT KẾ MẠCH IN (PCB)

5.1. Nguyên tắc thiết kế PCB cho nguồn xung

Trong thiết kế mạch in cho nguồn xung (SMPS), việc tuân thủ nguyên tắc bố trí và đi dây là yếu tố quyết định đến hiệu suất, độ ổn định cũng như khả năng chống nhiễu điện từ. Các nguyên tắc cơ bản gồm:

✚ Phân chia vùng công suất và vùng điều khiển:

- Vùng công suất (power stage) bao gồm MOSFET, diode, biến áp, cuộn cảm, tụ lọc.
- Vùng điều khiển (control stage) gồm IC PWM, mạch hồi tiếp, linh kiện tín hiệu nhỏ.
- Hai vùng này cần được bố trí tách biệt để giảm nhiễu và đảm bảo tín hiệu điều khiển chính xác.

✚ Nguyên tắc đi dây:

- Đường mạch mang dòng lớn (nguồn vào, nguồn ra, mass công suất) phải **ngắn – rộng – riêng biệt** để giảm điện trở và tổn hao.
- Đường tín hiệu điều khiển cần đi gọn, tránh song song với đường công suất để hạn chế cảm ứng nhiễu.

✚ Giảm nhiễu EMI/EMC:

- Sử dụng mặt phẳng mass (ground plane) liên tục.
- Đặt tụ decoupling gần chân IC.
- Hạn chế vòng dòng điện khép kín có diện tích lớn.

5.2. Bố trí linh kiện (Layout)

Việc bố trí linh kiện ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả hoạt động và độ tin cậy của mạch nguồn. Một số nguyên tắc chính:

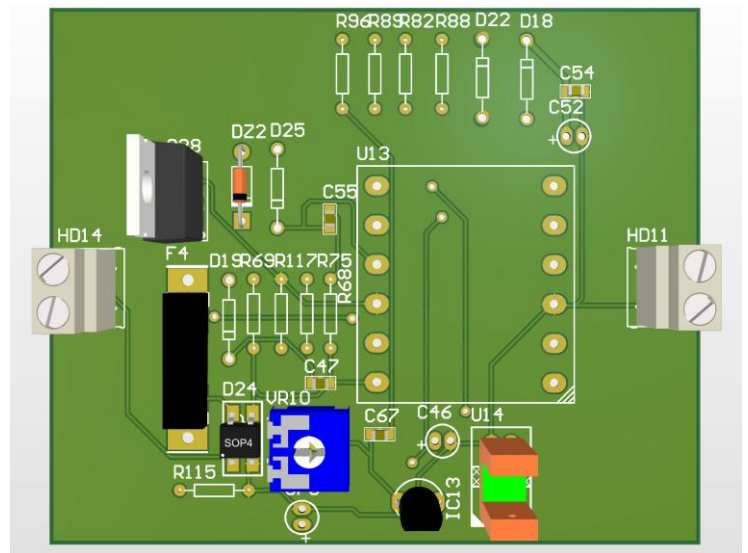
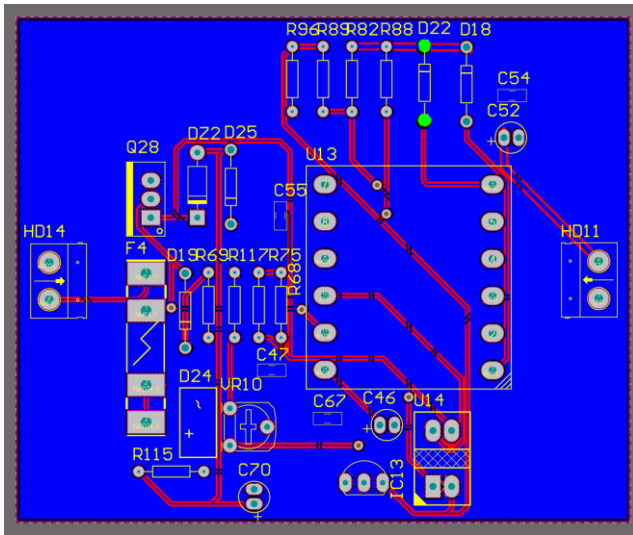
- ✚ **Biến áp, MOSFET và diode chỉnh lưu** cần đặt gần nhau để giảm chiều dài đường mạch dòng lớn.
- ✚ **Tụ lọc đầu vào và đầu ra** nên đặt sát MOSFET và diode nhằm giảm nhiễu xung áp.
- ✚ **IC PWM và mạch hồi tiếp** cần đặt xa khu vực nhiễu cao (gần biến áp và MOSFET), đồng thời đi kèm tụ bypass đặt ngay tại chân nguồn IC.
- ✚ **Vùng mass:**
 - Mass công suất và mass điều khiển nên được phân vùng rõ ràng.
 - Chỉ nối mass điều khiển và mass công suất tại một điểm (star ground) để tránh vòng dòng nhiễu.

5.3. Thiết kế lớp mạch

- ✚ **Sử dụng 2 lớp (top – bottom):**
 - Lớp top bố trí linh kiện chính và đường công suất.
 - Lớp bottom chủ yếu dùng làm mặt phẳng mass và đi dây điều khiển.
- ✚ **Đường cấp nguồn và mass dày:**
 - Với dòng công suất lớn, bề rộng đường mạch được tính toán dựa trên tiêu chuẩn IPC-2221 để đảm bảo chịu được dòng mà không quá nóng.
 - Các pad và via được gia cố để tăng khả năng dẫn dòng.
- ✚ **Kỹ thuật tản nhiệt cho MOSFET/diode:**
 - Sử dụng pad đồng lớn kết hợp via nhiệt để truyền nhiệt xuống lớp dưới.
 - Có thể bố trí thêm khe thoát nhiệt hoặc gắn heatsink nếu cần.

5.4. Xuất mạch in

- ✚ **File Gerber:**
 - Sau khi hoàn thiện thiết kế PCB trên phần mềm (Altium/Proteus/KiCad), xuất bộ file Gerber để gửi đi chế tạo.
 - Bộ file bao gồm: Top copper, Bottom copper, Top silkscreen, Bottom silkscreen, Drill file, Solder mask.
- ✚ **Hình ảnh mạch 2D/3D:**
 - Trình bày ảnh 2D cho từng lớp mạch (top/bottom).
 - Xuất hình ảnh 3D toàn bộ PCB để minh họa trực quan bố trí linh kiện và tính thẩm mỹ.



CHƯƠNG VI — CHẾ TẠO · LẮP RÁP · KIỂM THỬ

6.1 Quy trình chế tạo PCB (Manufacturing)

6.1.1 Chuẩn bị file cho nhà máy

- **Files cần gửi:** Gerber (Top/Bottom copper), Soldermask, Silkscreen, Drill (Excellon), Outline/mech, Pick&Place (centroid), BOM (ref,value,footprint,MPN), Fabrication note.
- **Fabrication note tối thiểu:** board thickness (1.6 mm), copper weight (1 oz/2 oz), surface finish (ENIG/HASL), soldermask color, min trace/space, min drill size, panelization yêu cầu.

6.1.2 Kiểm tra trước khi gửi (DFM review)

- DRC: không có net unconnected, no short, annular rings đủ, pads đủ lớn.
- Verify footprints khớp BOM.
- Confirm stencils/paste expansions cho SMD.
- Ghi rõ lớp soldermask keep-out quanh HV pads nếu cần.

6.1.3 Quy trình chế tạo chung

1. **Photoplot / Expose film** → tạo mẫu cho copper.
2. **Etch (ăn mòn)** lớp đồng thừa.
3. **Drill** lỗ via và lỗ lắp phần cơ khí.
4. **Plating** (via-through plating) → copper electroplating.
5. **Soldermask & silkscreen printing.**
6. **Surface finish (ENIG/HASL...).**
7. **AOI (automated optical inspection)**, electrical test (fly probe) – kiểm tra short/open.
8. **Cut / V-score / Panelization**, đóng gói.

Lưu ý: nếu board có vùng HV (sơ cấp), yêu cầu test điện trở cách điện sơ cấp↔thứ cấp và yêu cầu distance / slot theo tiêu chuẩn an toàn.

6.2 Lắp ráp mạch nguồn xung

6.2.1 Chuẩn bị vật tư & thiết bị

- **Vật tư:** PCB, linh kiện theo BOM (kiểm at least 2%), flux, thiếc, keo cố định cho SMD lớn.
- **Thiết bị:** lò reflow (nếu SMD), máy hàn THT, ngòi hàn/ hand soldering iron (40–60 W, mỏ hàn nhiệt ổn), magnifier/AOI, kip/test jig.

6.2.2 Trật tự hàn (recommended)

1. **SMD first (reflow):** điện trở SMD, tụ gốm, IC opto SMD, TL431 SMD (nếu SMD).
2. **Thêm linh kiện dán lớn/cao:** e.g. biến trở VR, fuse holder.
3. **Hand-solder THT:** cầu chỉnh lưu D24, diode lớn, tụ điện C46, Q28 (TO-220).
4. **Gắn biến áp U13:** (nếu là biến áp lồng lớn) gắn chắc, dây quấn phải cố định.
5. **Hàn connector HD14/HD11.**
6. **Kiểm tra góc nhìn (visual inspection)** cho chân bị lỗi, bridging, cold joint.

6.2.3 Kiểm tra sơ bộ sau khi hàn (Visual & continuity)

- Kiểm tra **polarity:** tụ điện điện phân, diode, electrolytic, opto, TL431, vị trí VR10.
- Kiểm tra bằng đồng hồ: continuity rails (no short between +Vbus và GND, không short sơ-thứ cấp).
- Kiểm tra các pad to (C46, Q28) có đủ solder và tiếp xúc tốt.
- Kiểm tra (megger) sơ cấp ↔ thứ cấp (tùy tiêu chuẩn) > 20 MΩ (example).

6.3 Kiểm thử và đo lường (Test & Measurement) — quy trình rất chi tiết

An toàn trước tiên: mạch SMPS có DC bus ~300–320 VDC. **Luôn** dùng: isolation transformer (nếu dùng mains trực tiếp), lamp in series (power-lamp) hoặc nguồn DC/limiter; dùng probes cách ly hoặc differential probe cho đo Drain. Mặt đất thiết bị đo phải đúng. Mang kính, găng tay nếu cần.

6.3.1 Thiết bị cần thiết

- Multimeter (4½–5 digit).
- Oscilloscope (≥ 100 MHz) + probe differential cho Drain/Drives.
- Electronic load (0–5 A/0–10 A) hoặc resistive load bank.
- DC power supply biến thiên/variator + lamp in series.
- Current clamp / shunt ammeter.
- Thermocouples/IR camera.
- Hipot tester (để kiểm tra cách ly, nếu cần).
- ESR meter (tùy nếu cần test tụ).

6.3.2 Sequence kiểm thử (bước-by-bước)

A. Kiểm tra an toàn, power-up ban đầu (no-load)

1. Đảm bảo board không có short giữa bus/solder-bridge. Tháo tải thứ cấp (no-load).
2. Kết nối mạch vào **variator** qua **lamp tester** (60–100 W). Lamp in series hạn chế dòng nếu có short.
3. Bật variator từ 0 → 230 VAC: quan sát lamp ánh sáng (nếu sáng to → short → tắt và kiểm tra).
4. Đo VCC (nuôi IC khởi động) tại điểm VCC (TP_VCC). Đo Vout tại HD11. **Kỳ vọng:** Vout ~12 V (có thể 0 nếu VR chưa chỉnh). Nếu Vout không có và lamp sáng → ngắt và debug.

5. Quan sát Drain waveform (TP_DRAIN) bằng **differential probe**: kiểm tra hình dạng xung, overshoot, ringing. **Kỳ vọng**: xung dựng đứng với ringing nhỏ, overshoot $\leq 50\text{--}100\text{ V}$ sau clamp. Nếu overshoot lớn \rightarrow cần chỉnh snubber.

B. Điều chỉnh mức điện áp đầu ra

6. Nếu Vout có, chỉnh VR10 để đạt chính xác 12.00 V (độ phân giải multimeter).
7. Kiểm tra ripple:

- Oscilloscope: **AC coupling**, 20 mV/div (tùy), timebase 50 $\mu\text{s}/\text{div}$; đo peak-to-peak ripple.
 - **Kỳ vọng**: ripple $\leq 100\text{ mVpp}$ (mục tiêu thiết kế $\sim 50\text{--}70\text{ mVpp}$).
8. Kiểm tra độ ổn định: đo Vout khi bật/tắt tải nhanh (step load): chuyển từ 0 \rightarrow 3 A và ngược lại; ghi lại overshoot/undershoot và thời gian ổn định (recovery time).

C. Đo hiệu suất (Efficiency)

9. Dùng nguồn AC (biến áp/variator) để đo công suất đầu vào: P_{in} ($P = V_{rms} \times I_{rms} \times PF$). Nếu đo trực tiếp phức tạp, dùng AC power meter trước board.
10. Dùng electronic load để đặt $I_{out} = 0 \rightarrow 3\text{ A}$: đo $P_{out} = V_{out} \times I_{out}$.
11. Tính hiệu suất:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Kỳ vọng: theo mô phỏng $\sim 73\%\text{--}88\%$ tùy thiết kế; thực tế với 13007 và diode 1N4007 sẽ thấp hơn (vd 65–75%). Nếu $< 60\%$ \rightarrow kiểm tra tổn hao MOSFET/diode/tụ.

D. Kiểm thử bảo vệ

12. **Quá dòng (OCP)**: tăng tải đến vượt ngưỡng (ví dụ 110–150% nominal) — hành vi mong muốn: mạch hiccup (tắt rồi thử lại), hoặc giới hạn dòng (latch-off). Ghi lại ngưỡng OCP và hành vi.
13. **Ngắn mạch (SCP)**: short đầu ra \rightarrow coi mạch phản ứng thế nào (hiccup/latch). Kiểm tra nhiệt và xem có hư linh kiện.
14. **Quá áp (OVP)**: mô phỏng bằng cách chỉnh R-divider (VR10) hoặc tắt opto \rightarrow xem mạch cắt nguồn hay bật crowbar. Ghi kết quả.
15. **UVLO / Brown-in/out**: test bằng cách giảm điện áp vào để xem mạch tắt/hồi phục an toàn.

E. Kiểm tra nhiệt

16. Dùng thermocouples / IR cam đo nhiệt của: Q28, D_out, transformer, C52. Ghi ΔT (so với môi trường) sau 30 min chạy full load. **Kỳ vọng**: không vượt quá $+40\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ so với ambient; nếu vượt, cần tản nhiệt/thiết kế lại.

F. EMC quick-check (nếu có thiết bị)

17. Kiểm tra phát xạ dẫn/phát xạ bức xạ; nếu exceed, thêm common-mode choke, Y-Caps, snubbers.

6.3.3 Cách đọc & thiết lập scope cho các phép đo phổ biến

- **Drain waveform (TP_DRAIN)**: differential probe; timebase 2 $\mu\text{s}/\text{div} \rightarrow 20\text{ } \mu\text{s}/\text{div}$; V/div phù hợp (200–500 V/div if no divider). Chú ý probe grounding — tránh short!

- **Ripple Vout:** AC coupling, 5–20 mV/div; bandwidth limit OFF (use 20 MHz filter nếu cần). Place probe tip vào +Vout pad, ground clip vào GND thứ cấp (be cautious — better use ground spring).
- **CS waveform (if R_sense present):** 100 mV/div → shows sawtooth current sense.
- **Transient load step:** trigger on load step event or set single-shot capture.

6.4 So sánh kết quả thực tế và mô phỏng

6.4.1 Bảng mẫu so sánh (BẢNG MẪU)

Thông số	Giá trị mô phỏng	Giá trị thực tế (No-load)	Giá trị thực tế (Full-load)	Ghi chú
Vout (V)	12.00 V	12.xx V	11.9x V	điều chỉnh VR10
Ripple Vpp (mV)	50 mV	40 mV	65 mV	đo oscilloscope
Efficiency (%)	73%	70%	68%	P_out/P_in
I_out max (A)	3 A	—	3.0 A	đo bằng electronic load
T_Drain peak (V)	430 V	420 V	435 V	đo differential probe
T_Q28 temp rise (°C)	35 °C	30 °C	48 °C	IR camera
OCP threshold (A)	3.6 A (Ipk calc)	—	3.4 A	quan sát hành vi hiccup

Lưu ý: bảng trên là mẫu; thay bằng số thực khi test.

6.4.2 Phân tích sai lệch (mẫu)

- **Nếu Vout sai lệch > ±5%:**
 - Kiểm tra R-divider (R89, R96, VR10) và TL431 bàn điều chỉnh; kiểm tra giá trị resistor thực tế (tolerance).
 - Kiểm tra optocoupler CTR/điện trở kéo LED opto có đúng giá trị?
- **Nếu ripple cao:**
 - ESR của C52 quá lớn → thay tụ ESR thấp (low-ESR electrolytic or polymer).
 - D_out quá xa C52 → rút ngắn trace.
- **Nếu hiệu suất thấp:**
 - Tồn hao ở Q28 (BJT) lớn; cân nhắc thay bằng MOSFET $V_{ds} \geq 650$ V hoặc cải thiện snubber.
 - Diode thứ cấp sụt áp lớn (1N4007) → thay Schottky/UF.
- **Nếu nhiệt Q28 cao:**
 - Tăng pad tản, thêm thermal vias, hoặc dùng tản nhiệt; giảm Rds_on bằng MOSFET.

6.5 Đánh giá – kết luận

6.5.1 Tiêu chí chấm điểm hoàn thiện mạch

- **Điện áp ra chuẩn:** $V_{out} = 12.00 \pm 0.5$ V @ full load.
- **Ripple:** ≤ 100 mVpp (mục tiêu ≤ 50 – 70 mVpp).

- **Hiệu suất:** $\geq 70\%$ (mục tiêu 75–85% nếu dùng MOSFET và Schottky).
- **Bảo vệ hoạt động:** OCP/SCP/OVP/UVLO hoạt động theo yêu cầu.
- **An toàn:** cách ly sơ-thứ cấp đạt tiêu chuẩn cơ bản; hipot pass.
- **Nhiệt:** $\Delta T < 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ tại linh kiện chính ở full-load.

6.5.2 Báo cáo nghiệm thu (nên có)

- **Mô tả quy trình test**, sơ đồ test jig, các thiết bị dùng.
- **Bảng kết quả đo (như 6.4.1)**, kèm hình chụp oscilloscope (drain waveform, ripple), ảnh IR (nhiệt).
- **Danh sách lỗi/phát hiện** và các biện pháp khắc phục đã thực hiện.
- **Kết luận:** Pass/Fail theo tiêu chí trên.

6.5.3 Hướng cải tiến (đề xuất kỹ thuật)

- **Thay BJT Q28 bằng MOSFET 650–800 V** (giảm tổn hao chuyển mạch, tăng hiệu suất). Sửa footprint, thêm gate driver nếu cần.
- **Dùng diode Schottky công suất trên thứ cấp** ($I_f \geq 8\text{ A}$, $V_r \geq 40\text{--}60\text{ V}$).
- **Tăng chất lượng tụ C52 (polymer/NCC) với ESR thấp** → giảm ripple và tăng ổn định.
- **Thiết kế active-clamp** hoặc RCD snubber tối ưu để giảm overshoot trên drain.
- **Cải thiện layout:** mở rộng copper pour 12V, thêm thermal vias dưới D_out và pad MOSFET, thu ngắn loop sơ cấp.
- **EMC:** bổ sung common-mode choke + X/Y caps ở đầu vào để đạt chuẩn EMI.
- **Bổ sung soft-start IC** hoặc dùng IC PWM có soft-start tích hợp để hạn chế inrush và stress cho components.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Tăng Cường, *Giáo trình Kỹ thuật điện tử cơ bản*, NXB Giáo dục, 2018.
- [2] Trần Văn Hiệp, *Kỹ thuật nguồn điện tử – Lý thuyết và ứng dụng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2019.
- [3] Đỗ Xuân Thụ, *Mạch điện tử công suất*, NXB Bách khoa Hà Nội, 2020.
- [4] Võ Minh Chính, *Giáo trình Thiết kế mạch điện tử với OrCAD – Altium Designer*, Trường ĐH Bách khoa TP.HCM, 2017.
- [5] Nguyễn Văn Sĩ, *Giáo trình CAD trong thiết kế điện tử – PCB Layout*, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (PTIT), 2021.
- [6] Altium Designer Documentation, *PCB Layout and Routing Guidelines*, Altium, 2023. [Online]. Available: <https://www.altium.com/documentation>
- [7] Texas Instruments, *Switching Power Supply Design Guide*, TI Application Note, 2022.
- [8] IEEE Std 315-1975, *Graphic Symbols for Electrical and Electronics Diagrams*, IEEE Standards Association.
- [9] Analog Devices, *PCB Layout Guidelines for Switching Regulators*, Application Note AN-1144, 2021.
- [10] Tài liệu giảng dạy môn *CAD/CAM trong thiết kế mạch điện tử*, Bộ môn Kỹ thuật Điện tử, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (PTIT), 2024.

LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình học tập tại Học viện Công nghệ Bưu Chính Viễn Thông và đặc biệt là trong thời gian thực hiện đề tài báo cáo này, em đã nhận được rất nhiều sự quan tâm, chỉ dẫn và hỗ trợ quý báu từ phía quý Thầy, Cô, bạn bè và gia đình. Với tất cả lòng kính trọng và biết ơn, em xin được bày tỏ lời cảm ơn chân thành nhất.

Trước hết, em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến **Ban Giám hiệu Nhà trường**, quý Thầy, Cô trong khoa Điện Tử 1 đã tận tình giảng dạy, truyền đạt cho em những kiến thức chuyên môn cũng như kỹ năng thực tiễn vô cùng quý giá trong suốt những năm học vừa qua. Đây chính là nền tảng quan trọng giúp em có đủ hành trang tri thức để thực hiện đề tài và định hướng nghề nghiệp trong tương lai.

Đặc biệt, em xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến **Thầy Vương Viết Thao** – người trực tiếp hướng dẫn em trong suốt quá trình thực hiện báo cáo. Thầy không chỉ tận tình hướng dẫn về mặt chuyên môn, mà còn luôn quan tâm, động viên, giúp em vượt qua những khó khăn, vướng mắc trong quá trình nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và thử nghiệm. Những ý kiến góp ý quý báu của Thầy đã giúp em hoàn thiện hơn đề tài cũng như rèn luyện được tác phong nghiên cứu khoa học nghiêm túc và tinh thần trách nhiệm trong học tập.

Mặc dù em đã rất nỗ lực trong quá trình thực hiện đề tài, nhưng do hạn chế về thời gian, kiến thức và kinh nghiệm thực tế nên báo cáo chắc chắn vẫn còn nhiều thiếu sót. Em rất mong nhận được sự cảm thông, chỉ dẫn và góp ý từ quý Thầy để báo cáo được hoàn thiện hơn.

Một lần nữa, em xin trân trọng gửi lời cảm ơn đến tất cả quý Thầy gia đình và bạn bè đã đồng hành, hỗ trợ em trong suốt quá trình học tập và thực hiện báo cáo này.

Sinh viên thực hiện
NHÓM 5