MÔ PHỎNG MẠCH

Phân tích chi tiết hơn nữa về mạch flyback sử dụng IC UCC28700 để tạo ra đầu ra 5.9V/1.5A từ đầu vào AC:

I. Phân tích chi tiết từng khối của mạch

1. Khối nguồn đầu vào

Khối này chịu trách nhiệm cung cấp điện áp DC cao áp ổn định để điều khiển mạch chính.

• TP1, TP2: Hai đầu nối nhận nguồn AC đầu vào với dải điện áp từ 85VAC đến 265VAC.

• F1 (0.5A): Là cầu chì bảo vệ mạch. Nếu dòng đầu vào vượt quá 0.5A, cầu chì sẽ ngắt để bảo vệ các linh kiện phía sau khỏi hư hỏng.

• D2 (RH06-T): Là cầu diode chỉnh lưu. Nó bao gồm 4 diode nối thành cầu để chuyển đổi dòng AC thành dòng DC. Dòng điện qua cầu diode được lọc bởi các tụ C1 và C2.

• Yêu cầu: Phải chịu được dòng điện đầu vào lớn (≥1.5A) và điện áp ngược cực đại (≥400V).

• C1, C2 (6.8uF, 400V): Hai tụ điện nối song song giúp lọc điện áp DC sau chỉnh lưu.

• Vai trò: Loại bỏ gợn sóng từ AC và cung cấp điện áp DC ổn định (~120VDC đến 375VDC) cho khối chính.

2. Khối điều khiển (UCC28700 và các linh kiện liên quan)

* IC U1 (UCC28700): Là bộ điều khiển PWM dành riêng cho mạch flyback. Nó điều chỉnh tần số và độ rộng xung (PWM) của tín hiệu điều khiển MOSFET Q1 để duy trì điện áp đầu ra ổn định.
* Các chân quan trọng của IC:

• VDD: Nguồn cấp cho IC (khoảng 21V khởi động, duy trì ở 10-21V từ cuộn dây phụ của biến áp).

• GND: Điểm nối đất của IC.

• VS: Đầu phản hồi, lấy tín hiệu từ cuộn dây phụ của biến áp để giám sát điện áp đầu ra.

• DRV: Tín hiệu điều khiển đến chân Gate của MOSFET Q1.

• R4, R5 (100kΩ, 28kΩ): Điện trở chia áp cho chân VS. Tín hiệu phản hồi này giúp IC điều chỉnh điện áp đầu ra bằng cách thay đổi độ rộng xung PWM.

• R3 (49.9Ω): Điện trở hạn dòng cho tín hiệu điều khiển từ DRV đến chân Gate của Q1.

• C8 (0.33uF): Tụ lọc cho chân VDD của IC, giúp duy trì nguồn ổn định khi IC hoạt động.

• R8 (49.9kΩ): Điện trở nối từ VDD sang nguồn DC cao áp khởi động IC trước khi cuộn dây phụ của biến áp cấp nguồn.

• R2, R10 (10MΩ): Điện trở nối song song với tụ lọc đầu vào (C1, C2) để đảm bảo điện áp ổn định và giảm dòng rò.

3. MOSFET điều khiển (Q1 - AOD2N60)

* Q1 (AOD2N60): Là MOSFET công suất, chịu trách nhiệm đóng/ngắt dòng qua cuộn dây sơ cấp của biến áp T2.
* Thông số:

• Điện áp Drain-Source (Vds) tối đa ≥ 600V.

• Rds(on) thấp (≤ 0.5Ω) để giảm tổn hao nhiệt.

* Hoạt động:

• Khi tín hiệu DRV từ IC UCC28700 kích hoạt, Q1 sẽ đóng, cho dòng chạy qua cuộn sơ cấp T2, tích năng lượng trong từ trường của biến áp.

• Khi Q1 ngắt, năng lượng này sẽ được chuyển đến cuộn thứ cấp và phụ trợ.

4. Biến áp xung (Flyback Transformer - T2)

* T2 (700uH, tỷ lệ 17:1:3): Là linh kiện trung tâm trong mạch flyback, có các cuộn dây:
* Sơ cấp: Tích năng lượng khi Q1 đóng.
* Thứ cấp: Truyền năng lượng sang tải (đầu ra 5.9V/1.5A).
* Phụ trợ: Cấp nguồn cho IC (VDD) và phản hồi tín hiệu.
* Tỷ lệ vòng dây: 17:1:3

• Cuộn sơ cấp có 17 vòng.

• Cuộn thứ cấp có 1 vòng.

• Cuộn phụ trợ có 3 vòng.

* C7 (220pF): Là tụ giảm nhiễu cao tần trong cuộn sơ cấp.

5. Khối chỉnh lưu và lọc đầu ra

* D5 (CDBC340): Là diode Schottky dùng để chỉnh lưu điện áp AC từ cuộn dây thứ cấp thành điện áp DC.
* Yêu cầu:

• Điện áp ngược tối đa ≥ 40V.

• Dòng tối đa ≥ 1.5A.

• Schottky diode được chọn vì có thời gian phục hồi ngắn và sụt áp thấp.

* C3 (100uF, 10V) và C4 (1000uF, 10V): Tụ lọc đầu ra, loại bỏ gợn sóng và cung cấp điện áp DC phẳng tại đầu ra.
* Yêu cầu:

• Điện áp tối đa ≥ 10V.

• Dòng hiệu dụng cao (Irms ≥ 2.5A).

* C10 (0.01uF): Là tụ lọc nhiễu cao tần tại đầu ra, đảm bảo tín hiệu sạch.

• R9 (2.61kΩ): Điện trở tạo tải nhỏ, giúp cải thiện tính ổn định và đảm bảo điều kiện không tải.

6. Bảo vệ

• D1 (SMAJ120A): TVS diode bảo vệ chống đột biến điện áp cao ở đầu vào.

• D3 (MRA4007): Diode siêu nhanh bảo vệ mạch trong các trạng thái chuyển tiếp.

II. Nguyên lý hoạt động từng giai đoạn

1. Khởi động IC:

• Khi cấp nguồn AC, điện áp DC cao áp (~120-375VDC) được lọc qua C1 và C2.

• Điện áp này đi qua R8 để nạp cho tụ C8 và cấp nguồn khởi động cho IC UCC28700 qua chân VDD.

2. Chuyển mạch Flyback:

• IC UCC28700 tạo tín hiệu điều khiển Q1 (MOSFET). Khi Q1 đóng, dòng điện chạy qua cuộn sơ cấp của biến áp T2, tích năng lượng trong từ trường.

• Khi Q1 ngắt, năng lượng trong cuộn sơ cấp được chuyển sang cuộn thứ cấp và cuộn phụ trợ.

3. Chỉnh lưu và ổn định đầu ra:

• Cuộn thứ cấp của biến áp T2 tạo dòng điện AC. Dòng này được chỉnh lưu qua D5 và lọc qua C3, C4 để tạo ra điện áp 5.9V DC tại đầu ra.

4. Phản hồi và điều chỉnh:

• Cuộn phụ trợ cung cấp tín hiệu phản hồi (qua chân VS) để IC điều chỉnh PWM, duy trì điện áp đầu ra ổn định bất kể thay đổi tải.

5. Bảo vệ mạch:

• Các diode bảo vệ như D1, D3 ngăn chặn đột biến điện áp và dòng điện quá lớn.

II. Cách thức chọn linh kiện, luật đi dây và sắp xếp linh kiện

Để thiết kế một mạch flyback như trên với hiệu suất cao và đảm bảo an toàn, cần tuân thủ các nguyên tắc lựa chọn linh kiện và luật đi dây như sau:

1. Lựa chọn linh kiện

1.1. IC điều khiển (U1 - UCC28700)

• Chọn IC phù hợp với thông số đầu ra:

• Công suất đầu ra: IC phải hỗ trợ mức công suất cần thiết, ở đây là 5.9V x 1.5A = 8.85W.

• Điện áp cấp: UCC28700 phù hợp với mạch nhỏ gọn, hoạt động từ 85V-265VAC.

• Lựa chọn tương đương:

• Nếu không có UCC28700, có thể dùng IC PWM flyback khác như TOPSwitch, LNK304 hoặc TNY278PN.

1.2. MOSFET công suất (Q1 - AOD2N60)

* Yêu cầu kỹ thuật:

• Điện áp tối đa (Vds): Tối thiểu là 1.5 đến 2 lần điện áp đầu vào tối đa (265VAC x √2 ≈ 375VDC). MOSFET cần có Vds ≥ 600V.

• Dòng điện tối đa (Id): Lớn hơn dòng sơ cấp của biến áp (khoảng 1.5A). MOSFET cần có Id ≥ 2A.

• Rds(on): Càng thấp càng tốt để giảm tổn hao nhiệt (ở đây Rds(on) ≤ 0.5Ω).

• MOSFET tương tự: IRF840, STP6NK60Z.

1.3. Biến áp (T2 - Flyback Transformer)

* Thông số chính:

• Cảm kháng (L): Thiết kế dựa trên công suất đầu ra. Ở đây là 700µH.

• Tỷ lệ vòng dây: Dựa trên điện áp đầu ra:

• Ví dụ: 17:1:3 (17 vòng sơ cấp, 1 vòng thứ cấp, 3 vòng phụ trợ).

• Dòng điện bão hòa (Isat): Phải lớn hơn dòng sơ cấp cực đại.

• Cách đặt hàng biến áp: Dùng phần mềm tính toán (như PowerEsim, PI Expert) hoặc liên hệ nhà cung cấp (Würth Elektronik, Coilcraft).

1.4. Diode chỉnh lưu (D5 - Schottky Diode)

* Thông số quan trọng:

• Điện áp ngược cực đại (Vr): Lớn hơn 1.5 lần điện áp đầu ra. Ở đây cần Vr ≥ 40V.

• Dòng tải tối đa (If): Lớn hơn dòng tải (ở đây là 1.5A). Chọn diode với If ≥ 2A.

• Loại diode: Schottky diode vì có sụt áp thấp (≤0.5V).

• Lựa chọn tương đương: MBR20100, SR560, SB560.

1.5. Tụ lọc (C3, C4, C10)

* Thông số cần chú ý:

• Điện áp chịu đựng (Vdc):

• Phải lớn hơn 1.2 đến 1.5 lần điện áp đầu ra (ở đây là 10V).

* Dung lượng (C): Đủ để lọc gợn sóng và duy trì dòng đầu ra ổn định.

• C3 (100µF): Dùng để lọc gợn sóng tần số cao.

• C4 (1000µF): Cung cấp dòng cho tải chính, chọn tụ có Irms ≥ 2.5A.

• C10 (0.01µF): Lọc nhiễu cao tần.

* Loại tụ:

• Tụ nhôm (Electrolytic) cho lọc DC.

• Tụ gốm (Ceramic) cho lọc nhiễu.

1.6. Điện trở (R9, R3, R5, R8, R4, R2)

* Chọn công suất điện trở phù hợp:

• R9 (2.61kΩ): Tạo tải giả, chọn công suất ≥0.5W.

• R8 (49.9kΩ): Điện trở khởi động, công suất ≥0.25W.

• Độ chính xác: Dùng điện trở có dung sai thấp (≤1%) với các điện trở chia áp quan trọng (R4, R5) để đảm bảo phản hồi chính xác.

1.7. Các linh kiện bảo vệ

* D1 (TVS diode - SMAJ120A):

• Bảo vệ mạch khỏi xung đột biến.

• Chọn loại chịu được điện áp 120V.

* D3 (MRA4007): Diode siêu nhanh, chịu được điện áp cao (≥600V).
* C7 (220pF): Tụ giảm nhiễu cho sơ cấp, chịu được xung đột biến.

2. Luật đi dây PCB

2.1. Luật chung

• Giảm độ dài dây: Các đường dòng cao (như từ Q1 đến sơ cấp T2) phải ngắn nhất có thể để giảm tổn hao và nhiễu.

• Đường GND (Mass): Tách riêng GND nguồn (công suất) và GND tín hiệu, chỉ nối tại một điểm.

• Đường tín hiệu điều khiển: Đường tín hiệu từ IC UCC28700 đến Q1 (DRV) cần ngắn và được tách biệt khỏi đường công suất.

2.2. Đi dây cho khối công suất

• Đường sơ cấp: Đường từ cầu diode đến tụ lọc (C1, C2), đến biến áp sơ cấp và Q1, cần có bề rộng lớn (≥50mil) để giảm tổn thất.

• Sử dụng polygon fill (đổ đồng) cho đường công suất.

• Tụ lọc C3, C4: Nối gần D5 để giảm nhiễu và tổn thất.

• Đi dây T2 (biến áp): Đảm bảo các cuộn sơ cấp, thứ cấp, và phụ trợ cách ly đúng tiêu chuẩn an toàn (khoảng cách ≥4mm).

2.3. Đi dây tín hiệu điều khiển

• Chân VDD, GND: Kết nối tụ lọc C8 gần chân VDD của IC UCC28700 để tránh nhiễu.

• Đường VS (phản hồi): Đi dây cách xa các đường công suất để tránh nhiễu.

• Chọn bề rộng dây nhỏ (khoảng 10-15mil).

2.4. Bảo vệ EMI và an toàn

• Khoảng cách cách ly (Clearance): Đường AC (TP1, TP2) và DC cao áp (sơ cấp) cách xa đường tín hiệu thấp áp (thứ cấp) ít nhất 6mm.

• Lớp đồng che chắn (Ground Plane): Đặt lớp đồng che chắn dưới các linh kiện công suất để giảm nhiễu.

3. Các tiêu chuẩn cần tuân thủ

• Tiêu chuẩn an toàn: Tuân thủ các quy định về cách ly sơ cấp/thứ cấp như IEC 60950.

• Kiểm tra EMI/EMC: Thiết kế để giảm nhiễu tần số cao.

• Khoảng cách PCB: Đảm bảo khoảng cách tối thiểu giữa các mạch điện áp cao (sơ cấp) và thấp áp (thứ cấp).