Thiết kế bộ nguồn xung dải rộng
Đầu vào (150 – 240)V 50hz - đầu ra dc 5v 1,5a; 12v 3a

Trần Xuân Phương[1*], Nguyễn Hồng Hạnh[2]
[1] Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Công nghệ Đông Á
*Email: phuongtx@eaut.edu.vn

TÓM TẮT

Nguồn xung (Switching Power Supply - SMPS) đóng vai trò quan trọng trong việc chuyển đổi hiệu quả năng lượng xoay chiều (AC) thành năng lượng một chiều (DC) thông qua việc sử dụng kỹ thuật dao động xung tần số cao, tiếp theo là quá trình chỉnh lưu và lọc để đảm bảo chất lượng điện áp một chiều đầu ra. Nhờ hiệu suất vượt trội, kích thước nhỏ gọn và khả năng tiết kiệm năng lượng đáng kể so với nguồn tuyến tính truyền thống, nguồn xung đã trở thành giải pháp cung cấp năng lượng chiếm ưu thế trong hầu hết các thiết bị điện tử hiện đại. Có rất nhiều loại nguồn xung như: Buck; Boost; Buck- Boost; Flyback. Nguồn dải rộng đòi hỏi giải pháp kỹ thuật rất khó và chỉ thực hiện được bằng nguồn Flyback.

Bài viết này sẽ tập trung phân tích sâu về nguyên lý hoạt động, chức năng và thiết kế cụ thể của một nguồn xung dải rộng (Flyback) đầu vào AC trong phạm vi (150 – 240)V/50Hz, cung cấp đầu ra DC với các thông số kỹ thuật là 5V 1,5A và 12V 3A.

Từ khóa: Chuyển mạch điện tử, Flyback, nguồn xung dải rộng, nguồn một chiều.

ABSTRACT

Switching Mode Power Supplies (SMPS) are integral components in modern electronics, providing efficient AC to DC power conversion through high-frequency switching techniques, rectification, and filtering. This process ensures a stable and regulated DC output voltage. SMPS have largely superseded linear power supplies due to their superior efficiency, smaller form factor, and associated energy savings. While a variety of SMPS topologies exist, including Buck, Boost, and Buck-Boost, the Flyback topology is uniquely suited to wide-range power supply applications due to its inherent design advantages in handling diverse input voltages and isolation requirements.

This article provides a detailed analysis of a wide-range flyback AC-DC switching power supply operating between 150-240V/50Hz. The focus is on the operating principle, functional blocks, and specific design considerations necessary to achieve stable DC outputs of 5V at 1.5A and 12V at 3A.

Keywords: Electronic switching, Flyback, wideband switching power supply, DC power supply.

1. MỞ ĐẦU

Nguồn một chiều dùng để cung cấp năng lượng cho hầu hết các thiết bị kỹ thuật hiện nay, chất lượng của nguồn điện áp này có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất và độ tin cậy của các thiết bị và hệ thống. Để đánh giá chất lượng nguồn một chiều dựa trên nhiều tiêu chí quan trọng

như: Độ bằng phẳng, sóng vân, hiệu suất, dải làm việc ổn định, đồng thời cần đảm bảo kích thước nhỏ gọn, kết cấu đơn giản và giá thành hợp lý.

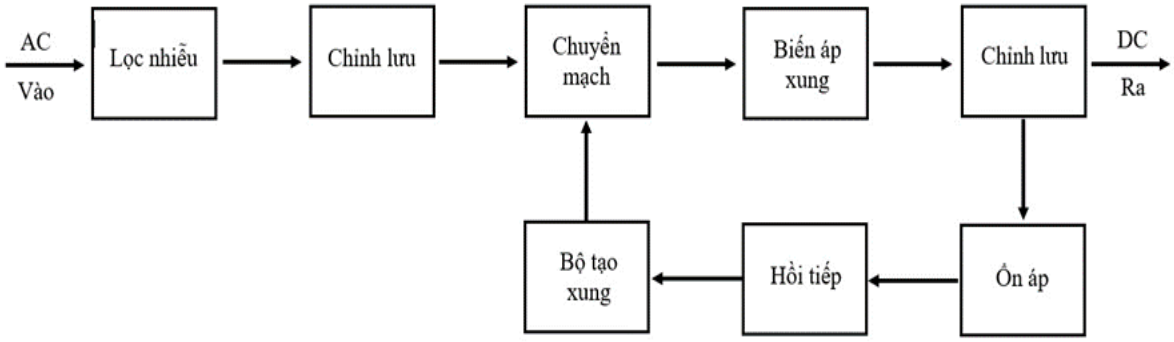
Mặc dù nguồn tuyến tính truyền thống có ưu điểm về sự đơn giản, dễ dàng trong lắp ráp và hiệu chỉnh, tuy nhiên chúng lại bộc lộ nhiều hạn chế về độ bằng phẳng, sóng vân lớn, hiệu suất thấp và kích thước cồng kềnh.

Ngược lại, nguồn xung nói chung có cấu tạo phức tạp hơn đặc biệt là nguồn Flyback, đồng thời đòi hỏi trình độ, kỹ năng rất cao trong thiết kế, lắp ráp, hiệu chỉnh. Nhưng mang đến chất lượng vượt trội, thể hiện ở độ bằng phẳng cao, sóng vân nhỏ, hiệu suất lớn, dải làm việc rộng và kích thước nhỏ gọn hơn đáng kể.

Chính vì những ưu điểm vượt trội này, nguồn xung Flyback ngày càng được ứng dụng rộng rãi và trở thành lựa chọn tối ưu trong hầu hết các thiết bị kỹ thuật hiện đại.

2. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG

Tất cả các nguồn xung Flyback đều có sơ đồ chức năng như sau:



Hình 1. Sơ đồ chức năng bộ nguồn xung dải rộng

Điện áp xoay chiều AC đầu vào, dao động trong khoảng (150–240)V với tần số 50Hz. Đầu vào là bộ lọc nhiễu được cao tần chuyên dụng nhằm loại bỏ các thành phần nhiễu gây ra bởi đường dây điện. Điện áp này được chỉnh lưu thông qua cầu diode để chuyển đổi thành điện áp một chiều DC, sau đó được san phẳng và ổn định bằng tụ lọc sơ cấp, tạo ra một điện áp DC có biên độ dao động trong khoảng (212–339)V. Điện áp DC đã được lọc này sẽ đi qua một chuyển mạch điện tử, thường được cấu thành từ các linh kiện bán dẫn như transistor, MOSFET, hoặc IGBT, đóng vai trò là một công tắc đóng ngắt ở tần số cao bởi các xung điều khiển. Bộ tạo xung (bộ điều khiển) tạo ra các xung điện áp ở tần số cao (vài chục đến vài trăm kHz) đưa đến cực điều khiển của linh kiện công suất (Công tắc). Khi có xung điều khiển, khóa đóng, cuộn sơ cấp của biến áp xung được nạp điện, khi kết thúc xung điều khiển, khóa ngắt, năng lượng điện trên cuộn sơ cấp sẽ phóng sang cuộn thứ cấp. Quá trình cứ lặp đi lặp lại như vậy theo chu kỳ của xung điều khiển sẽ tạo ra xung điện áp tần số cao bên cuộn thứ cấp của biến áp. Điện áp này sau đó được chỉnh lưu và lọc bằng tụ lọc thứ cấp để tạo ra điện áp một chiều DC ổn định. Khi đầu vào hay tải thay đổi mạch hồi tiếp lấy điện áp trên cuộn hồi tiếp, từ đầu ra quay về điều khiển chuyển mạch điện tử (transistor, MOSFET hoặc IGBT), có chức năng điều chỉnh chu kỳ

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49

đóng, cắt của chuyển mạch, từ đó duy trì và khống chế điện áp đầu ra ở mức mong muốn bất chấp sự thay đổi tải hoặc đầu vào, đảm bảo sự ổn định của điện áp ra.

3. THIẾT KẾ MẠCH

Yêu cầu thiết kế cho bộ nguồn xung dải rộng như sau:

Đầu vào	Đầu ra
Điện áp: 150 –240 VAC Tần số: 50Hz	Cổng 1: 12V, 3A, P= 12V × 3A= 36W Cổng 2: 5V 1,5A (công suất: 5V × 1,5A = 7,5W Tổng công suất: 36W + 7,5W = 43,5W khi thiết kế với công suất dư khoảng (20-30)%, tức là khoảng 50-60W. Hiệu suất: Từ 85-90%, do đó công suất đầu vào cần khoảng (60-70)W.

3.1 Khối lọc nhiễu đầu vào

Dòng điện xoay chiều (AC) đầu vào trước tiên đi qua tụ chống sét, có nhiệm vụ ngăn chặn và triệt tiêu các xung điện áp cao, bảo vệ các thành phần điện tử phía sau. Tiếp theo, dòng điện được đưa qua bộ lọc nhiễu bao gồm hai tụ gốm C_5, C_8 và cuộn cảm L, nhằm loại bỏ các thành phần nhiễu tần số cao, đảm bảo chất lượng nguồn đầu ra. Cuối cùng, tụ C_7 đóng vai trò bảo vệ mạch trong trường hợp điện áp đầu vào vượt quá ngưỡng an toàn, ngăn ngừa hư hỏng cho toàn bộ hệ thống.

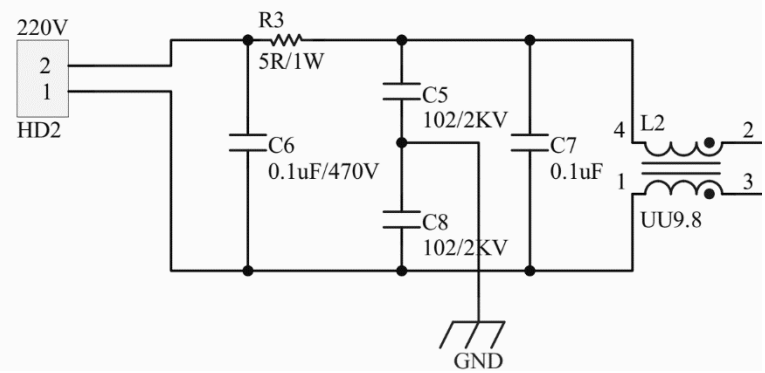
Tính chọn:

Tụ điện C_5,C_8: 1,00 nF

Chọn tụ chống sét loại 7D471 trị số 0,1μF/470V

Tụ bảo vệ quá áp C_7 ta chọn loại 0,1μF/300V

Cuộn cảm L_1 = L_2 = L= 47μH/300V

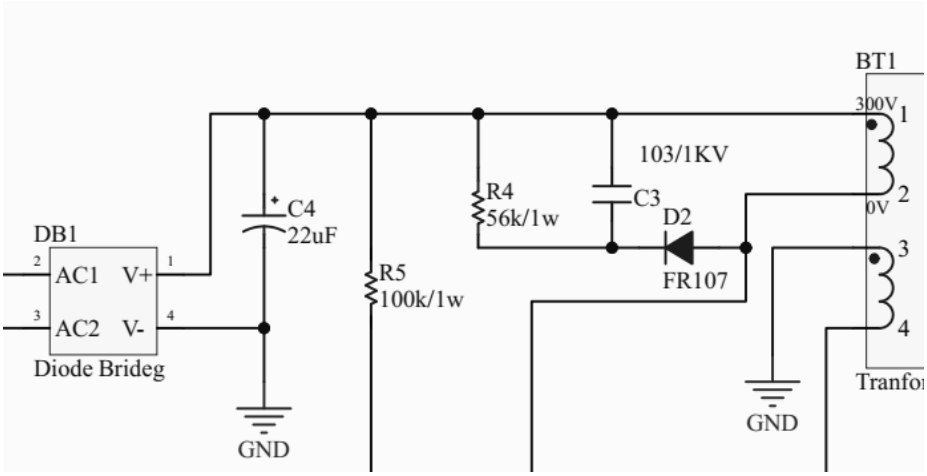


Hình 2. Sơ đồ nguyên lý khối lọc nhiễu đầu vào

3.2 Khối chỉnh lưu

Điện áp xoay chiều (AC) đầu vào trong khoảng (150–240)V, tần số 50Hz, trải qua quá trình chỉnh lưu bằng cầu diode để tạo ra điện áp một chiều (DC) dao động trong khoảng (212–339)V. Tiếp theo, điện áp DC này được làm phẳng bởi tụ lọc trước khi được cấp vào cuộn sơ cấp của biến áp xung. Quá trình này nhằm biến đổi điện áp AC đầu vào thành điện áp DC ổn định, phù hợp cho hoạt động của các thành phần điện tử tiếp theo trong mạch.

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý khối chỉnh lưu

Tính toán cho cầu diode: Điện áp nguồn lưới đặt trực tiếp vào cầu nắn nên diode phải chịu điện áp ngược cao.

+ Trị số đỉnh của điện áp là: $U_p = (150-240)\sqrt{2} = (212-339)V$

+ Trị số đỉnh của điện áp ngược đặt lên mỗi diode là:

$U_{in} = (212-339)\sqrt{2} = (300-480)V$ chọn các diode chịu được áp ngược là 600V.

+ Từ kết quả trên ta chọn diode loại 1N4007-8A1000V

+ Dòng điện bảo hòa ngược I_s = 6 A

+ Dòng điện thuận cực đại I_{Fmax} = 8 A

3.3 Khối chuyển mạch

MOSFET Q1 được sử dụng như một công tắc điện tử, thực hiện chức năng đóng/ngắt mạch theo xung điều khiển tại cực G. Khi có xung, MOSFET chuyển sang trạng thái dẫn (bật), tạo điều kiện cho dòng điện chạy qua cuộn sơ cấp biến áp xung và sinh ra điện áp cảm ứng ở cuộn thứ cấp. Trong quá trình này, tổn hao công suất chủ yếu phát sinh trong giai đoạn tắt của MOSFET. Để giảm tổn hao chuyển mạch, đặc biệt là khi MOSFET tắt, điện trở R10 được mắc thêm vào để tăng tốc độ tắt. Tuy nhiên, biện pháp này có thể gây ra sự thay đổi dòng điện lớn, dẫn đến tăng nhiễu điện từ (EMI). Để giảm thiểu nhiễu, diode D5 được sử dụng để xả nhanh điện tích cổng (gate charge) khi MOSFET tắt. Diode Schottky thường được ưu tiên sử dụng

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49

cho mục đích này nhờ đặc tính tổn hao thấp và khả năng hoạt động ở tần số cao. Tính toán và lựa chọn các linh kiện (với đầu vào 220V/50Hz)

U_{in} = 300 V

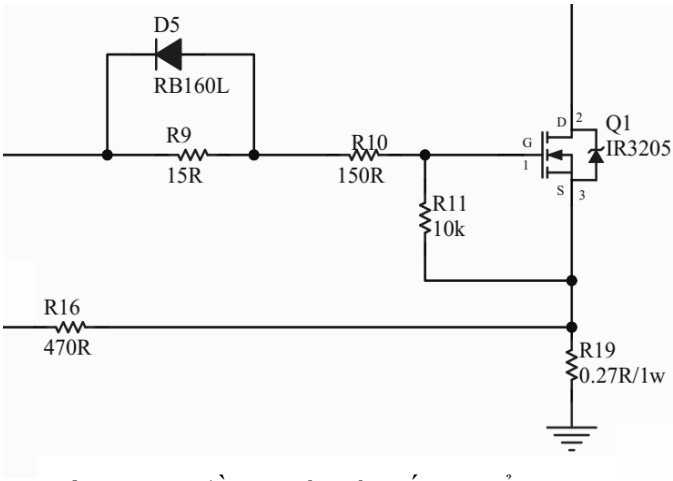
U_{out} = 12 V và 5 V

f_s = 50 kHz

Hiệu suất η = 85%

Điện áp drain-source tối đa:

$$U_{ds(max)} \geq 480 \text{ V}$$



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý khối chuyển mạch

Chọn MOSFET với $U_{ds(max)}$ ít nhất 500V.

Dòng điện drain tối đa $I_{d(max)}$: $I_{d(max)12V} \geq 1{,}5.3 = 4{,}5A$

$I_{d(max)5V} \geq 1{,}5.1{,}5 = 2{,}25A$

Chọn MOSFET IRF320 có dòng $I_{d(max)}$ = 18 A; $U_{ds(max)}$ = 600V; nhiệt độ hoạt động từ -55^{0}C đến150^{0}C

R_9 = 15Ω/1W, R_{10} = 150Ω, R_{11} = 10kΩ; R_{16} = 470Ω , R_{19} = 0,27Ω/1W

D_5: RB160L-60 (Schottky diode 60V/1A)

3.4 Biến áp xung

Công suất ra : $P_{out} = 12\times3 + 1{,}5\times5 = 43{,}5$ W

+ Dải điện áp đầu vào yêu cầu đáp ứng: AC (150 – 240)V/(50 – 60)Hz
+ Điện áp đầu ra DC: 12V và 5V
+ Công suất vào: $P_{in} = P_{out}/\eta$ với η = 85% thì P_{in} = 43,5/0,85 = 51,2W

→ $I_{in} = P_{in}/220 = 51{,}2/220 = 0{,}23$ A

Tính toán số dòng dây sơ cấp: $N_p = \dfrac{U_{in(min)}.T_{on(max)}}{B_{max}.Ae}$

Trong đó :

$U_{in(min)}$= 212V; Ae= 0,0001 m^2; B_{max} = 0,2 T

$T_{on\,(max)}$: Thời gian bật tối đa phụ thuộc vào chu kỳ làm việc tối đa (D_{max}).

Để nguồn làm việc ổn định trong chế độ Flyback thì D_{max} được chọn ≤ 50% trong trường hợp này ta chọn D_{max} = 0,45.

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49

Vậy thời gian bật tối đa: $T_{on(max)} = D_{max}.T = D_{max}.\frac{1}{f_s} = 0,45.\frac{1}{50.10^3} = 9\mu s$

Thay số, tính được: $N_p = \frac{U_{in(min)}.T_{on(max)}}{B_{max}.Ae} = \frac{212.9.10^{-6}}{0,2.0,0001} \approx 94,7 \Rightarrow N_p = 95$ vòng

Tính số vòng thứ cấp: $N_s = N_p.\frac{U_{out}}{U_{in(min)}.D_{max}}$

Điện áp ra cửa 1 : U_{out1} = 12V Cửa 2: U_{out2} = 5V

Do diode chỉnh lưu đầu ra có sụt áp là 0,7 V nên thực tế

U_{out1}=12V +0,7V =12,7V U_{out2} = 5V +0,7V = 5,7V

Vậy $N_{s1} = 95.\frac{12,7}{212.0,45} = 12,6 \Rightarrow N_{s1} = 13$ vòng

$N_{s2} = 95.\frac{5,7}{212.0,45} = 5,72 \Rightarrow N_{s2} = 6$ vòng

Tính cuộn cảm sơ cấp L_p: $L_p = \frac{(U_{in(min)}.D_{max})^2}{2P_{out}.f_s.\eta} = \frac{(212.0,45)^2}{2.43,5.50.10^3.0,85} \approx 2,42mH$

Dòng sơ cấp đỉnh I_p: $I_p = \frac{U_{in(min)}.T_{on(max)}}{L_p} = \frac{212.9.10^{-6}}{2,42.10^{-3}} \approx 0,788A$

Dòng thứ cấp đỉnh

Cho mạch 12V: $I_{s1} = \frac{I_p.N_p}{N_{s1}} = \frac{0,788.95}{13} \approx 5,75A$

Cho mạch 5V: $I_{s2} = \frac{I_p.N_p}{N_{s2}} = \frac{0,788.95}{6} \approx 12,48A$

Chọn tiết diện dây dẫn:

Chọn mật độ dòng điện J là 6 A/mm²:

Tiết diện dây sơ cấp: $S_p = \frac{I_{in}}{J} = \frac{0,788}{6} \approx 0,13mm^2 \Rightarrow$ Chọn dây 0,2 mm^2

Tiết diện dây thứ cấp:

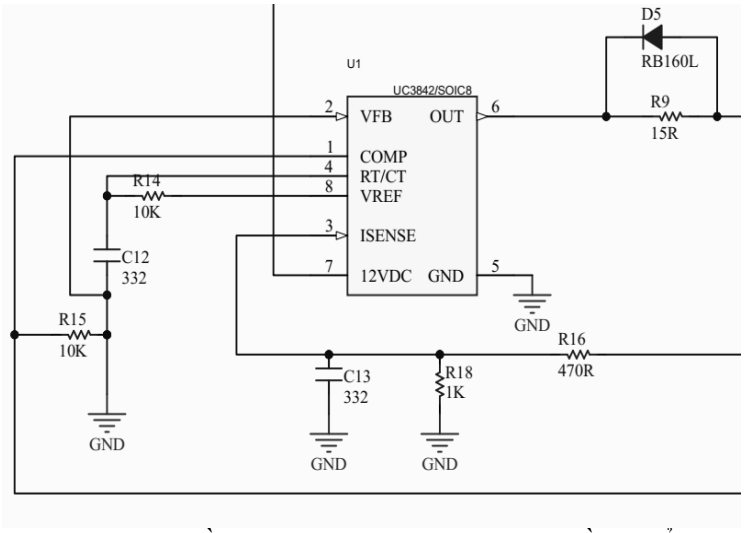
+ Cho đầu ra 12V/3A: $S_{s1} = \frac{I_1}{J} = \frac{3}{6} = 0,5mm^2 \Rightarrow$ Chọn dây 0,5 mm^2

+ Cho đầu ra 5V/1,5A: $S_{s2} = \frac{I_2}{J} = \frac{1,5}{6} = 0,25mm^2 \Rightarrow$ Chọn dây 0,4 mm^2

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49

3.5 Mạch tạo xung điều khiển

Để điều khiển bộ nguồn switching một cách hiệu quả, phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM) với tần số cố định thường được sử dụng. Việc xây dựng mạch điều khiển PWM bằng linh kiện rời dẫn đến sự phức tạp trong thiết kế, độ chính xác thấp, và kích thước mạch lớn.



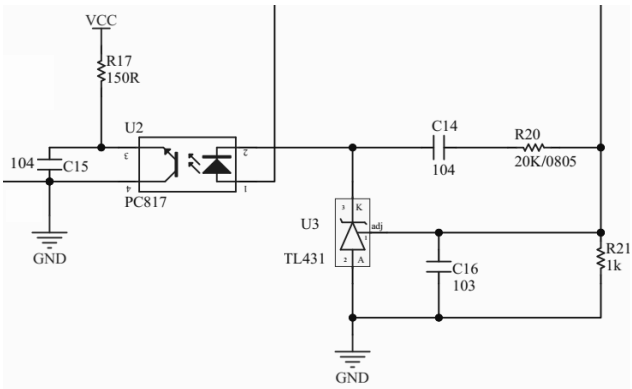
Hình 5. Sơ đồ nguyên lý mạch tạo xung điều khiển

Do đó, việc sử dụng IC điều khiển PWM chuyên dụng là giải pháp tối ưu nhằm khắc phục các nhược điểm trên. Mặc dù có nhiều lựa chọn IC PWM như SG1524, UC1846, TL494, TL495, UC38xx,… nhưng IC UC3842 được ưu tiên lựa chọn nhờ tính phổ biến, giá thành cạnh tranh và khả năng dễ dàng tìm kiếm trên thị trường.

IC UC3842 là một mạch tích hợp điều khiển PWM (Pulse Width Modulation) chế độ dòng điện tần số cố định, được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng nguồn xung (Switching Power Supply) và chuyển đổi năng lượng (AC-DC, DC-DC). Có thể làm việc với dải tần từ 0 đến 500kHz. Trong mạch ta định tần số làm việc cho IC ở tần số 50kHz để đưa tới điều khiển chuyển mạch (Q_1) để điều khiển thời gian đóng, ngắt cho Q_1 bằng độ rộng xung, nếu tải lớn hoặc đầu vào điện áp thấp thì tự động tăng thời gian đóng, khi tải nhỏ hoặc đầu vào điện áp cao thị giảm thời gian đóng để đảm cảo công suất ra bất kể sự thay đổi tải và điện áp đầu vào.

3.6 Khối hồi tiếp

Mạch hồi tiếp sử dụng Opto PC817 và IC TL431 là một giải pháp phổ biến nhờ tính kinh tế và khả năng dễ dàng tìm kiếm linh kiện trên thị trường. Sự kết hợp này, cùng với mạng lưới điện trở phân áp (sẽ được tính toán chi tiết sau), tạo thành một vòng hồi tiếp hiệu quả.



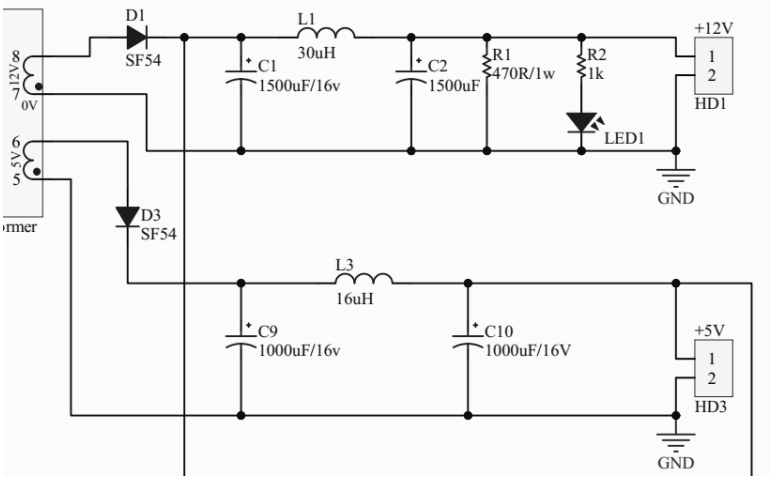
Hình 6. Sơ đồ nguyên lý khối hồi tiếp

Để giảm thiểu nhiễu điện áp từ nguồn cung, các tụ gốm được lắp đặt tại các chân đầu vào của IC TL431 và Opto. Cần lưu ý cấu trúc chân của PC817, với chân 1 và 2 thuộc phía đầu vào, và chân 3 và 4 thuộc phía đầu ra, để đảm bảo kết nối chính xác trong quá trình thiết kế và lắp ráp mạch.

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49

3.7 Khối lọc đầu ra

Mạch lọc này được thiết kế với mục tiêu chính là loại bỏ nhiễu và dập xung cao tần trong nguồn điện. Cấu trúc mạch bao gồm một diode chỉnh lưu đảm nhiệm việc chuyển đổi dòng xoay chiều sang dòng một chiều, hai tụ lọc mắc song song để ổn định điện áp và một cuộn cảm có vai trò loại bỏ các thành phần nhiễu cao tần.



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý khối lọc đầu ra

Nguyên lý hoạt động dựa trên việc điện áp sau khi được chỉnh lưu bởi diode sẽ đi qua các tụ lọc và cuộn cảm, từ đó giảm thiểu nhiễu và ổn định điện áp đầu ra. Điện trở R_1 được mắc song song với hai tụ có chức năng như một tải giả, tiêu thụ một lượng nhỏ dòng điện để đảm bảo dòng hồi tiếp từ cuộn dây đủ lớn, duy trì hoạt động ổn định của IC điều khiển. Thêm vào đó, đèn tín hiệu được tích hợp để cung cấp thông tin trực quan về trạng thái hoạt động của mạch.

3.8. Tính công suất của mạch.

Phần trước đã tính công suất ra là 43,5W với hiệu suất 85% thì công suất đầu vào phải đạt 51,2W. Để khẳng định mạch có đáp ứng được công suất hay không ta đi xác định công suất ở điện áp nhỏ nhất trên biến áp xung. Nghĩa là tính công suất với mức điện áp đầu vào nhỏ nhất mà vẫn đảm bảo được công suất ra 43,5W

Năng lượng từ trường được tích lũy trên cuộn sơ cấp của biến áp xung: $Wh = \frac{1}{2} L.I_{max}^2$

Với I_{max} là dòng phóng cực đại của cuộn sơ cấp. $I_{max} = \int_0^{T_{on}} \frac{U_p}{L_p} dt = \frac{U_p}{L_p}.T_{on}$

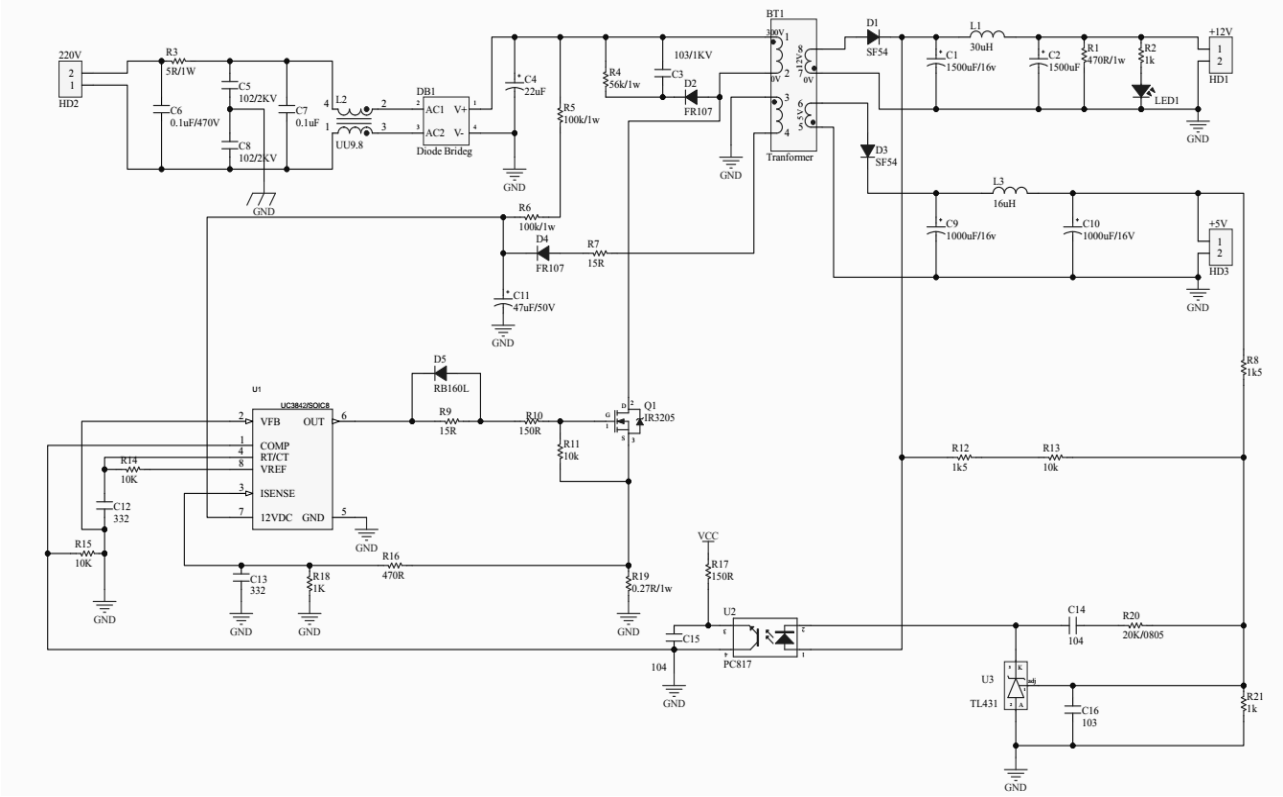
U_p : điện áp $U_{p(min)} = 150\sqrt{2}V$; $T_{on} = 9\mu s$

$$P_s = \frac{U_p.I_{max}}{2} = \frac{U_p^2.T_{on}}{2L_p} = \frac{(150\sqrt{2})^2.9.10^{-6}}{2.2,42.10^{-3}} \approx 83,57W$$

Với điện áp đầu vào nhỏ nhất có biên độ $150\sqrt{2}V$ (tương ứng với điện áp hiệu dụng 150V), công suất đạt được là 83,57W – hoàn toàn đáp ứng yêu cầu công suất sơ cấp chỉ 51,2W để cung cấp công suất đầu ra 43,5W (với hiệu suất 85%). Điều này cho thấy hệ thống hoạt động ổn định với khả năng dự phòng cao.

3.9 Sơ đồ nguyên lý tổng thể bộ nguồn xung dải rộng

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49



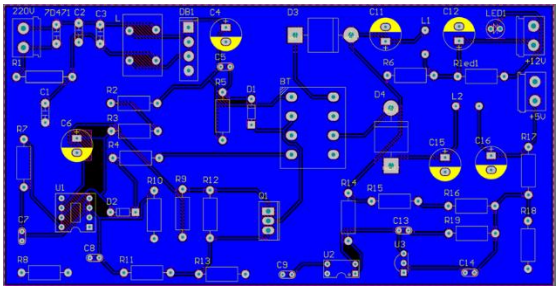
Hình 8. Sơ đồ nguyên lý bộ nguồn xung dải rộng

Điện áp AC trong phạm vi (150–240)V, tần số (50– 60)Hz, sau khi được lọc nhiễu và được chỉnh lưu bởi cầu diode, làm phẳng bởi tụ lọc, tạo ra điện áp DC có biên độ (212–339)V. Điện áp DC này được chia thành hai đường: một đường trực tiếp cấp cho đầu 1 của biến áp xung, đường còn lại qua mạch phân áp R_5, R_6 tạo ra dòng kích ban đầu, cung cấp cho chân 7 của IC tạo xung điều khiển UC3842 (kích hoạt cho IC làm việc). Mosfet Q1, với cực G được điều khiển bởi tín hiệu từ chân 6 (đầu ra của mạch tạo xung) thông qua mạch D_5, R_9, R_{10}; cực D nối với đầu 2 của biến áp xung, và cực S nối với GND, tạo thành mạch chuyển mạch công suất.

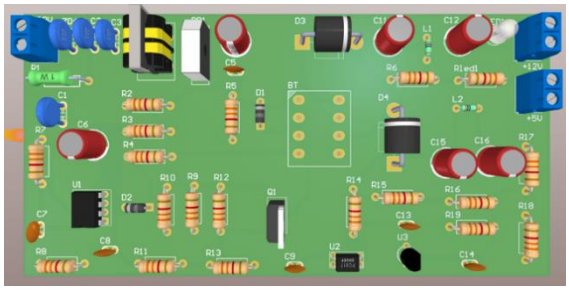
Khi xung điều khiển được kích hoạt tại cổng G của Mosfet Q_1, Q_1 dẫn điện, tạo điện áp trên cuộn sơ cấp của biến áp xung, cuộn sơ cấp được nạp điện. Khi xung điều khiển kết thúc, Q1 ngắt, cuộn sơ cấp phóng điện tạo điện áp lên cuộn thứ cấp. Quá trình này lặp đi, lặp lại theo chu kỳ của xung điều khiển, trên cuộn thứ cấp của biến áp xung ta nhận được xung điện áp với tần số tương ứng với tần số của xung điều khiển (50kHz). Sau đó, qua mạch chỉnh lưu và lọc, điện áp DC 12V được tạo ra ở cổng 1 và 5V ở cổng 2, được ổn định và bảo vệ thông qua mạch hồi tiếp lấy tín hiệu từ cuộn hồi tiếp của biến áp xung. Ngoài ra để bảo vệ Mosfet khi cuộn sơ cấp phóng điện ta dùng mạch dập xung gồm điốt D_2, R_4 và tụ C_3.

Từ sơ đồ nguyên lý mạch, thiết kế mạch in và sơ đồ lắp ráp sử dụng phần mềm Altium Designer, kết quả như sau:

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49



Hình 9. Sơ đồ mạch in



Hình 10. Sơ đồ lắp ráp

Từ đây ta có thể dễ ràng triển khai lắp ráp và thử nghiệm bộ nguồn xung dải rộng này. Qua đó ta sẽ thử nghiệm với đầu vào thay đổi từ 150V đến 240V 50 Hz và thay đổi tải sẽ thấy đáp ứng của bộ nguồn này là rất tốt.

4. TRAO ĐỔI VÀ KẾT LUẬN

Từ kết quả thiết kế ta thấy: Nguồn xung dải rộng Flyback đáp ứng tốt các tiêu chí kỹ thuật, như độ ổn định điện áp đầu ra, độ nhiễu thấp, hiệu suất cao, kích thước nhỏ gọn và giá thành cạnh tranh.

Khả năng tối ưu hóa thêm thông qua việc sử dụng linh kiện chất lượng cao, tích hợp hoặc cải tiến cấu trúc mạch (sử dụng linh kiện chất lượng cao, tăng tần số dao động của xung điều khiển). Điều này sẽ cải thiện chất lượng nguồn, nâng cao hiệu suất và giảm tổn hao.

Nhờ những ưu điểm trên, nguồn xung loại này được ứng dụng rộng rãi trong các thiết bị công suất nhỏ hiện nay.

Nghiên cứu này mở ra tiềm năng ứng dụng trong việc thiết kế các nguồn DC đối xứng chất lượng cao, đáp ứng nhu cầu cung cấp năng lượng ổn định cho các thiết bị điện tử nhạy cảm như bộ khuếch đại âm thanh, khuếch đại thuật toán và các thiết bị dân dụng khác như điều hòa, tủ lạnh, máy giặt..... góp phần nâng cao độ tin cậy, hiệu suất, tiết kiệm điện năng của thiết bị.

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49

Tài liệu tham khảo

[1] B. N. Alajmi, K. H. Ahmed, G. P. Adam and B. W. Williams, *Single phase single-stage transformer less grid-connected PV system*, IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, pp. 2664-2676, Jun. 2013.

[2] L. Mihalache, *DSP control of 400 Hz inverters for aircraft applications*, Proc. IEEE IAS Conf., Pittsburgh, PA, USA, Oct. 2002, pp. 1564-1571.

[3] M. A. Laughton, D.F. Warne, *Aircraft" in Electrical Engineer's Reference Book*, 16th ed., Newnes, 2002.

[4] Sener, E., Ertasgin, G. and Zuber, *Design of a 400 Hz current-source single-phase converter for avionic systems*, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), IEEE, 2017.

[5] TS. Võ Minh Chính, Phạm Quốc Hải, Trần Trọng Minh, *Điện tử công suất*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2007.

[6] TS Nguyễn Bính, *Điện tử công suất*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 2000.

https://doi.org/10.65153/qn6a4q49