

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN
KHOA ĐIỆN TỬ-VIỄN THÔNG**

BÁO CÁO ĐỒ ÁN

**ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT
MẠCH BOOST (STEP UP) CONVERTER**

Nguyễn Hoài Trọng
Trần Trung Hậu

19200536
19200297

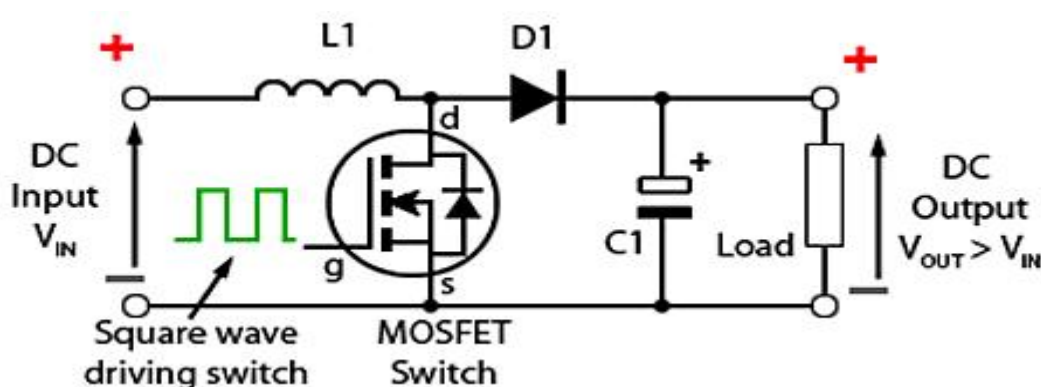
Thành phố Hồ Chí Minh 2023

MẠCH BOOST (STEP UP) CONVERTER

1. Giới thiệu

Mạch Boost Converter là một mạch tăng áp có nghĩa là điện áp ra sẽ lớn hơn điện áp vào. Gồm các linh kiện như cuộn cảm, tụ điện, diode, MOSFET đóng vai trò như một công tắc và một điện trở để tải. Thêm vào đó là một mạch tạo sóng vuông để điều khiển MOSFET. (Hình 1)

Mạch Boost Converter được áp dụng vào lĩnh vực năng lượng pin, các mạch khuếch đại, các thiết bị tự động hóa, điện tử dân dụng, công nghiệp ô tô...



Hình 1: Schematic của mạch Boost Converter

2. Nguyên lý hoạt động

2.1 MOSFET

- Cấu tạo của Mosfet:

+ G (Gate): cực cổng. G là cực điều khiển được cách lý hoàn toàn với cấu trúc bán dẫn còn lại bởi lớp điện môi cực mỏng nhưng có độ cách điện cực lớn dioxit-silic

+ S (Source): cực nguồn

+ D (Drain): cực máng đón các hạt mang điện

- MOSFET hoạt động ở 2 chế độ đóng và mở. Do là một phần tử với các hạt mang điện cơ bản nên Mosfet có thể đóng cắt với tần số rất cao.

+ Đối với kênh P : Điện áp điều khiển mở MOSFET là $U_{gs} \leq 0$. Dòng điện sẽ đi từ S đến D

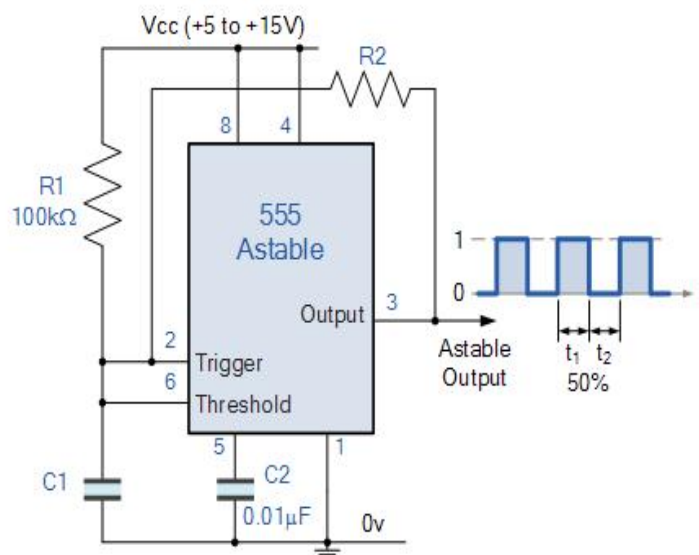
+ Đối với kênh N : Điện áp điều khiển mở MOSFET là $U_{gs} > 0$. Điện áp điều khiển đóng là $U_{gs} \leq 0$. Dòng điện sẽ đi từ D xuống S.

=> Ở mạch này chọn MOSFET kênh N

2.2 Mạch tạo sóng vuông

- Tạo sóng vuông để điều khiển công tắc MOSFET thông qua cơ chế đóng ngắt.

50% Duty Cycle Astable Oscillator



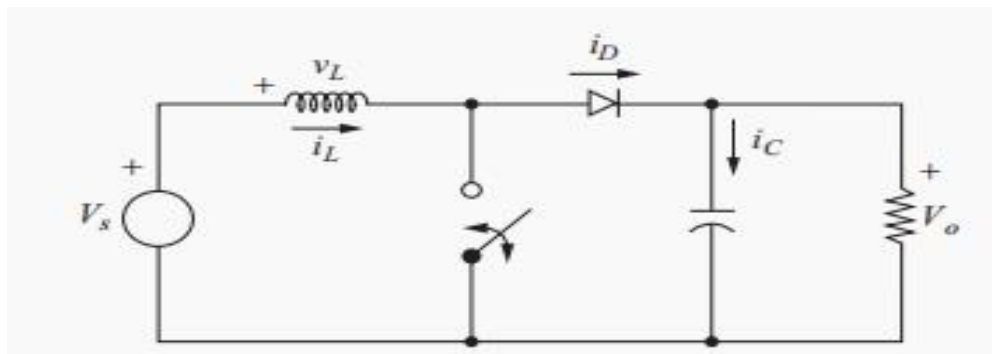
Hình 2: Schematic của mạch dao động dùng IC555

- Công thức: $f = \frac{1}{0.693(2R_2)C}$ (Hz)

2.3 Khi công tắc MOSFET đóng

- Khi đóng công tắc (Hình 4), diode được phân cực ngược. Định luật điện áp của Kirchhoff xung quanh đường dẫn chứa nguồn, cuộn cảm, và công tắc đóng là:

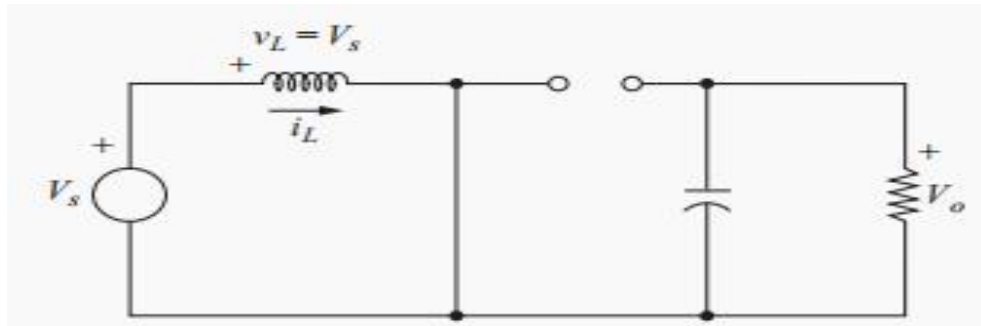
$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{or} \quad \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$



Hình 3: Mạch tương đương của mạch Boost Converter

- Tốc độ thay đổi của dòng điện là một hằng số, vì vậy dòng điện tăng tuyến tính trong khi công tắc được đóng. Độ biến thiên dòng điện trong cuộn cảm được tính:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$



Hình 4: Mạch tương đương khi công tắc đóng

- Khi công tắc đóng có Δi_L :

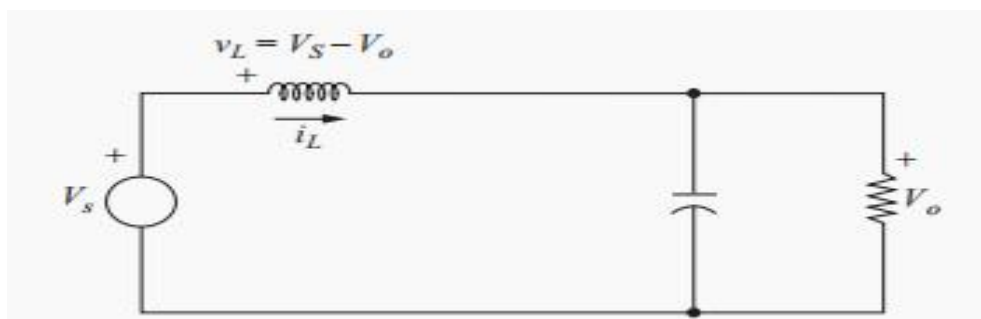
$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} = \frac{V_s DT}{L}$$

2.4 Khi công tắc MOSFET mở

- Khi mở công tắc (Hình 5), dòng điện qua cuộn cảm không thể thay đổi ngay lập tức, do đó diode trở nên phân cực thuận để cung cấp đường dẫn cho dòng điện cuộn cảm. Giả sử rằng điện áp đầu ra V_o là một hằng số, điện áp trên cuộn cảm là:

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$



Hình 5: Mạch tương đương khi công tắc mở

- Tốc độ biến thiên của dòng điện qua cuộn cảm là một hằng số nên cường độ dòng điện phải thay đổi tuyến tính trong khi công tắc đang mở. Sự thay đổi dòng điện dẫn trong khi chuyển mạch đang mở là:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

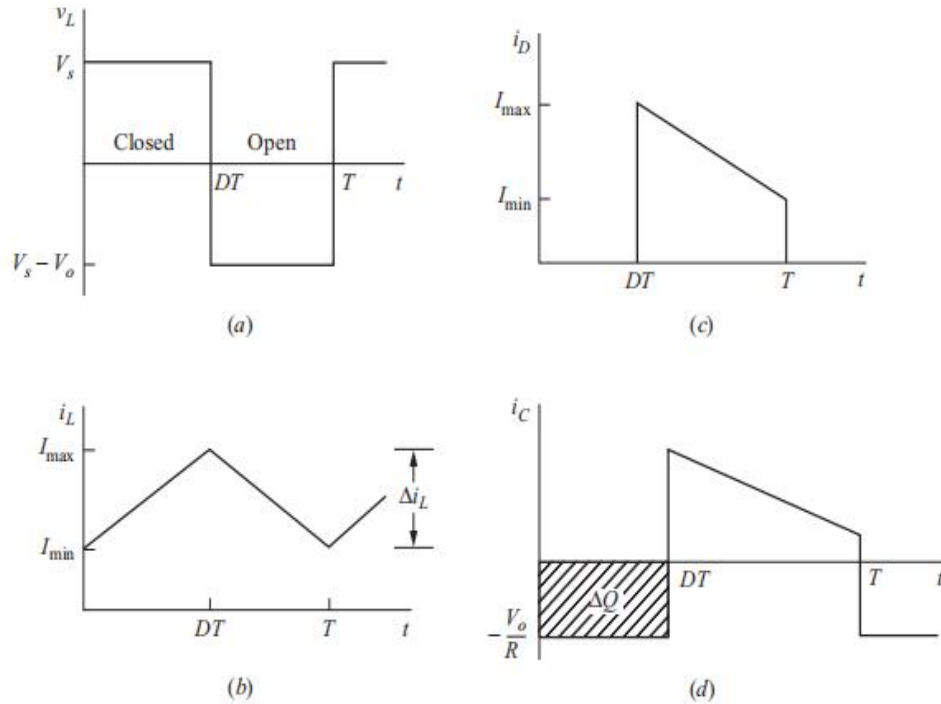
- Đối với hoạt động ở trạng thái ổn định, sự thay đổi trong dòng điện dẫn phải bằng không. Do đó tổng Δi_L đóng và mở bằng 0:

$$V_o = \frac{V_s}{1-D}$$

$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} + (\Delta i_L)_{\text{open}} = 0$$

$$\frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0$$

- Khi duty ratio của công tắc tiến tới 1, điện áp đầu ra sẽ chuyển sang vô cực dựa trên các thành phần lý tưởng. Các thành phần thực sự có tồn tại sẽ ngăn chặn sự xuất hiện như (Hình 6) cho thấy dạng sóng điện áp và dòng điện cho bộ chuyển đổi tăng cường.



Hình 6: Waveform Boost converter

(a - Điện thế của cuộn cảm; b - Dòng điện của cuộn cảm
c - Dòng điện của diode; d - Dòng điện của tụ điện)

- Dòng điện trung bình trong cuộn cảm được xác định bằng cách nhận ra rằng công suất trung bình được cung cấp bởi nguồn phải giống như công suất trung bình được hấp thụ bởi điện trở tải. Công suất đầu ra là:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = V_o I_o$$

- Và công suất đầu vào là $V_s I_s = V_s I_L$. Cân bằng công suất đầu vào và đầu ra khi sử dụng công thức:

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D}$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{[V_s/(1-D)]^2}{R} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2} R$$

Suy ra:

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_o^2}{V_s R} = \frac{V_o I_o}{V_s}$$

Có:

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s D T}{2L}$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L}$$

- Với giả thiết rằng dòng điện dẫn liên tục, nghĩa là luôn dương. Điều kiện cần để dòng điện qua cuộn cảm liên tục là I_{\min} dương. Do đó, ranh giới giữa dòng điện dẫn liên tục và không liên tục được xác định:

$$I_{\min} = 0 = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L}$$

Suy ra:

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_s D T}{2L} = \frac{V_s D}{2L f}$$

- Do đó, sự kết hợp tối thiểu giữa điện cảm và tần số chuyển đổi đối với dòng điện liên tục là

$$(Lf)_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2}$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f}$$

2.5 Ripple của điện thế ra

- Các phương trình trước được phát triển dựa trên giả định rằng điện áp đầu ra là một hằng số, nghĩa là điện dung vô hạn. Trong thực tế, một điện dung hữu hạn sẽ dẫn đến một số dao động trong điện áp đầu ra hoặc gợn sóng (ripple). Công thức:

$$C = \frac{D}{R(\Delta V_o/V_o)f}$$

* Với $\Delta V_o/V_o$ là % ripple

3. Kết quả mô phỏng

3.1 Tính toán và chọn linh kiện

* Với project này chọn điện áp đầu vào là 9V. Sau khi qua mạch Boost Converter tăng áp lên khoảng 20V (giá trị tự chọn).

- Tính tần số dao động mạch tạo sóng vuông:

$$f = \frac{1}{0.693(2R_2)C} = \frac{1}{0.693(2.750)10n} = 96.2\text{kHz}$$

- Tính Duty ratio (D), L_{\min} , C (với ripple được chọn 1%):

$$D = 1 - \frac{V_S}{V_O} = 1 - 9/20 = 0.55$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} = \frac{0.55 \cdot 0.45^2 \cdot 75}{2 \cdot 96.2k} = 43.4\mu H \Rightarrow \text{Chọn } 47\mu H, R = 75\Omega$$

$$C \geq \frac{D}{R(\Delta V_O/V_O)f} = \frac{0.55}{75 \cdot 1\% \cdot 96.2k} = 7.6\mu F \Rightarrow \text{Chọn } 10\mu F$$

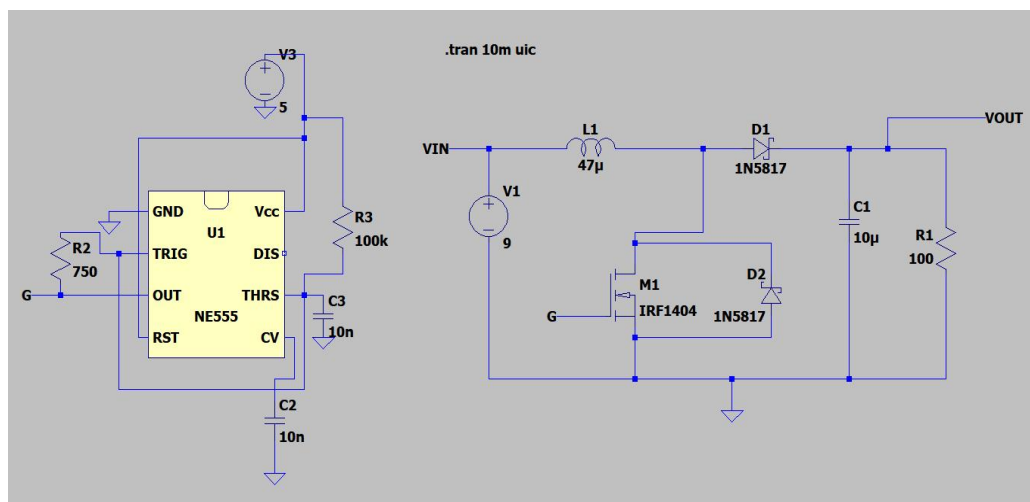
$$I_L = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} = \frac{9}{0.45^2 \cdot 75} = 0.592A$$

$$\frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_S D}{2Lf} = \frac{9 \cdot 0.55}{2 \cdot 47\mu \cdot 96.2k} = 0.547A$$

$$I_{\max} = 0.592 + 0.547 = 1.139A$$

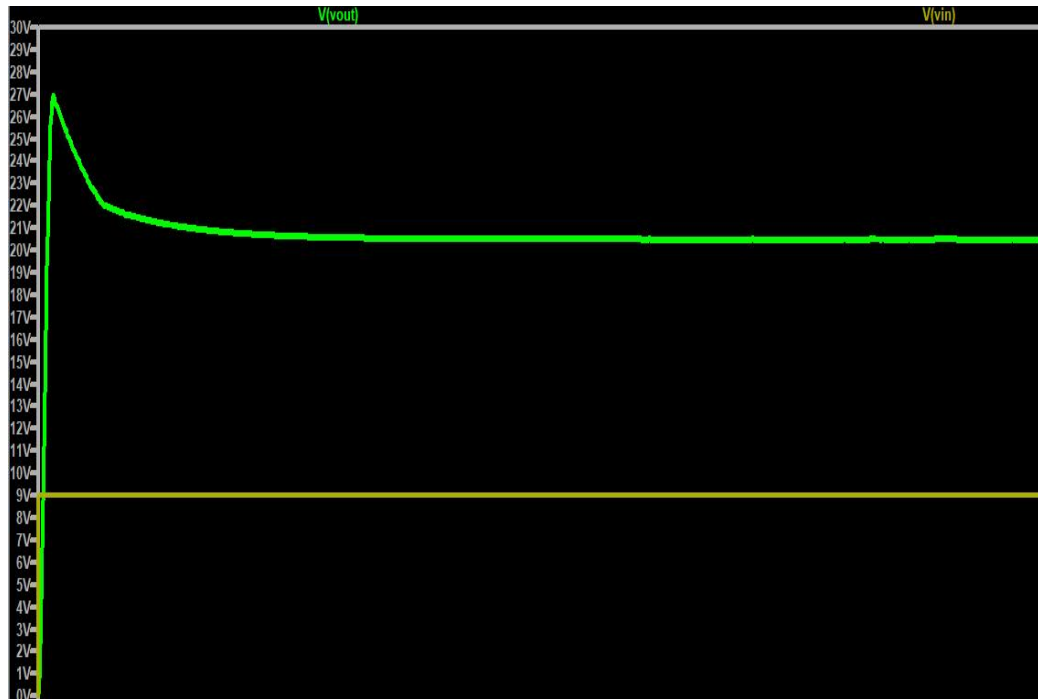
$$I_{\min} = 0.592 - 0.547 = 0.045A$$

3.2 Mô phỏng trên LTSpice



Hình 7: Schematic mạch Boost Converter trong LTSpice

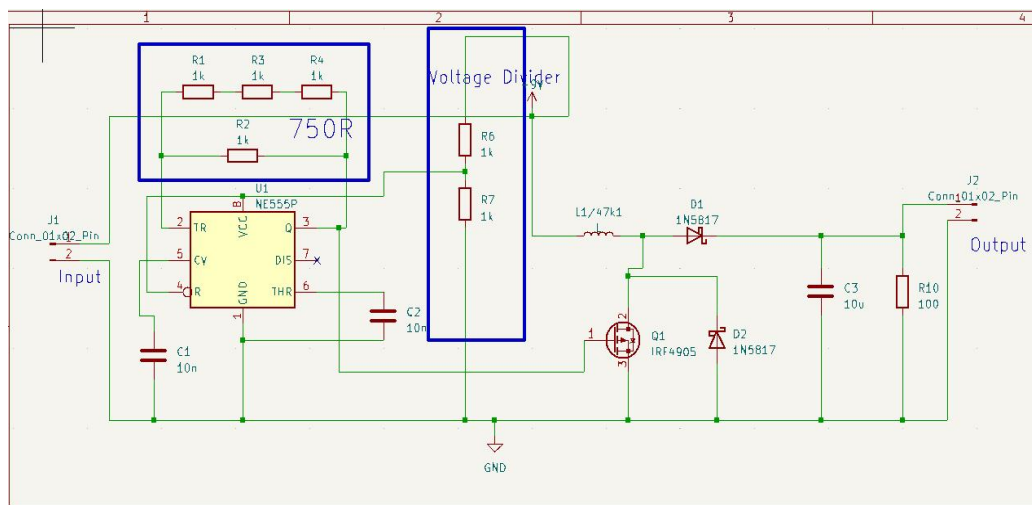
- Kết quả khi điện áp 9V vào thì mạch tăng áp lên xấp xỉ 20V. Tuy nhiên phải đổi điện trở tải với giá trị 100Ω mạch mới hoạt động đúng trong điều kiện và linh kiện thực tế có trên thị trường.



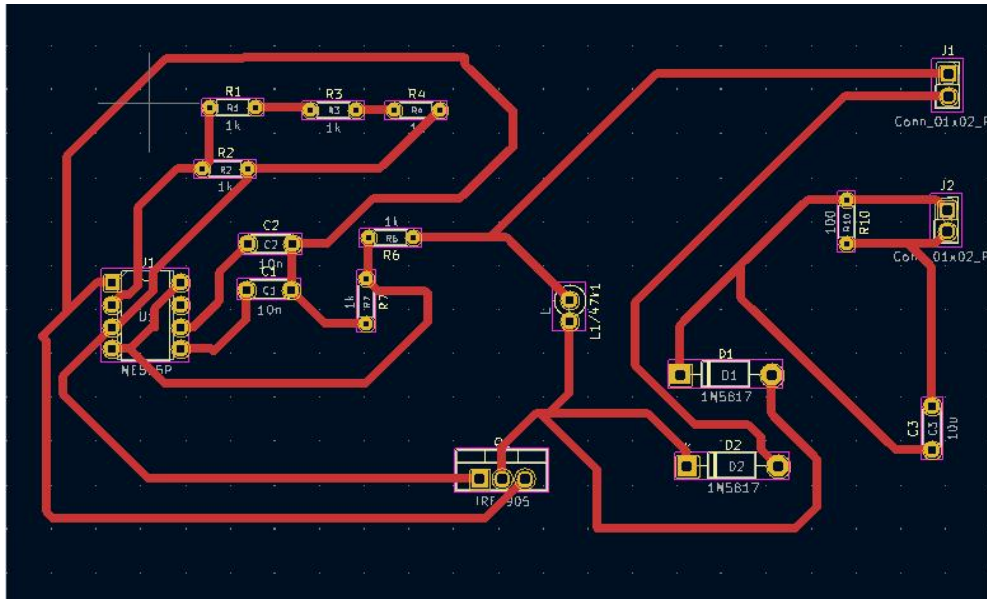
Hình 8: Vin(vàng) và Vout(xanh lá) khi mô phỏng mạch

4. Thiết kế PCB

4.1 Schematic và layout

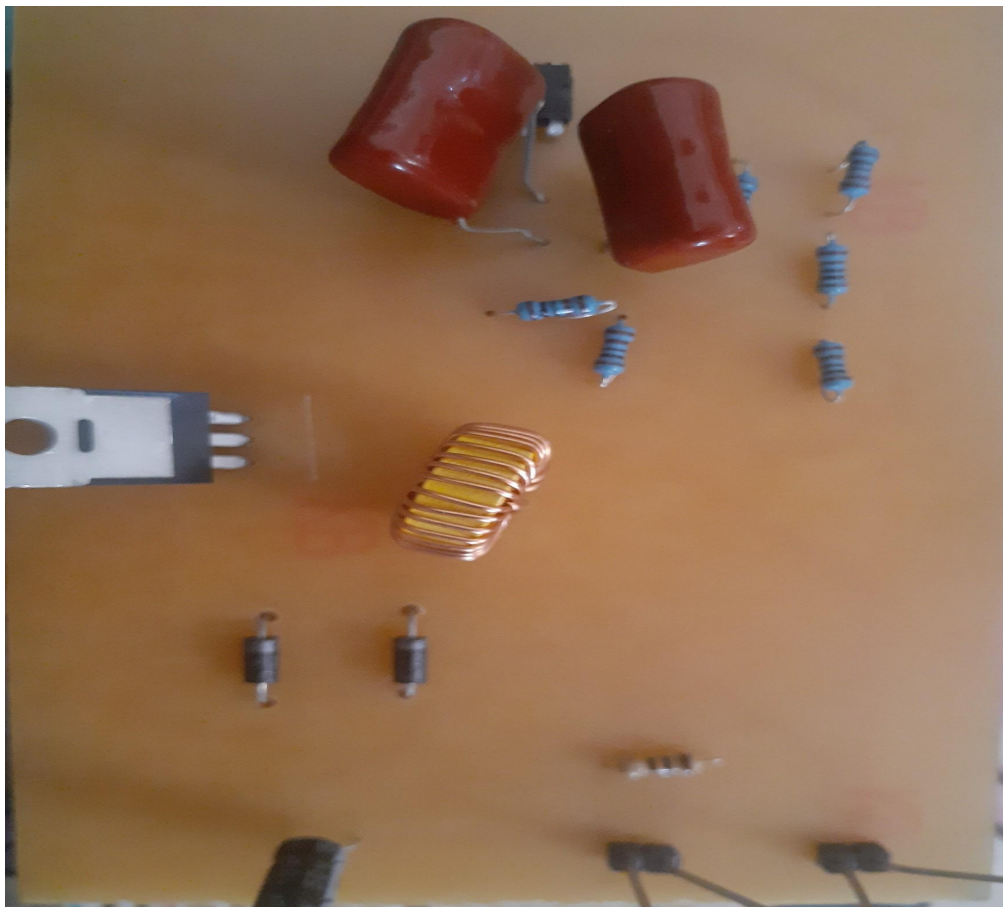


Hình 9: Schematic của mạch thiết kế bằng KICAD



Hình 10: Layout PCB một lớp

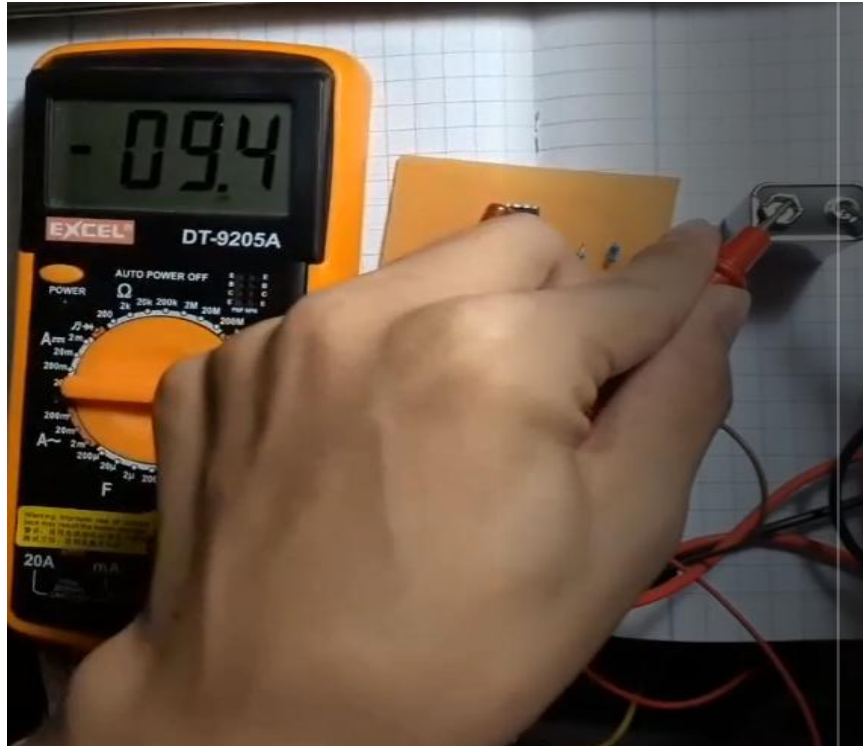
4.2 Mạch khi hoàn thành



Hình 11: PCB đã hàn linh kiện

4.3 Kết quả đo

- Đo nguồn điện từ pin được 9.4V lớn hơn 9V cần sử dụng



- Đo nguồn điện ra sau khi được tăng điện thế bằng mạch Boost Converter được 9.4V lớn hơn 9V theo lý thuyết



Nhận xét: Do pin lớn hơn 9V nên kết quả đo là khoảng 22V có sai số so với lý thuyết

5. Kết luận, đánh giá

- Mạch Boost Converter có rất nhiều ứng dụng trong nhiều lĩnh vực đặc biệt với lĩnh vực pin cho xe điện đang rất phát triển.

- Đồ án thiết kế một mạch Boost Converter đơn giản từ tính toán đến mô phỏng và thành mạch thực tế. Nhưng do các hạn chế và sai số từ linh kiện kết quả đo trong thực tế có hơi khác biệt với tính toán và mô phỏng.