

BÀI TẬP LỚN SỐ 3 - MÔN ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

GV: Nguyễn Minh Triết – trietnm@hcmute.edu.vn

Sinh viên thực hiện: **Trần Ngọc Hiếu**

Mã số sinh viên: **20146127**

Baremè chấm điểm

STT	Nội dung thực hiện	Điểm	Tự chấm	GV chấm
1	YC1: Tóm tắt đầy đủ công thức tính toán mạch	1		
2	YC1: Vẽ sơ đồ nguyên lý	1		
3	YC1: Thuyết minh, tính toán chọn lựa linh kiện trong mạch nguyên lý	1		
4	YC1: Vẽ mạch mô phỏng và đo đạc các thông số của mạch mô phỏng và lập bảng so sánh giữa tính toán lý thuyết và mô phỏng	1		
5	YC1: Đưa ra các đồ thị mô phỏng.	1		
6	YC2: Đưa ra tối thiểu 3 lựa chọn IC. Có lập bảng so sánh các thông số và thuyết minh chọn lựa IC hợp lý theo tiêu chí đáp ứng yêu cầu thiết kế, giá thấp nhất, xuất xứ Mỹ, châu Âu.	1		
7	YC2: Thuyết minh lựa chọn linh kiện trong mạch nguyên lý. Có tham khảo, dẫn chứng công thức tính toán của nhà sản xuất.	2		
8	YC3: Thiết kế PCB theo layout guideliné của nhà sản xuất	2		
	Tổng điểm	10		

Điểm thưởng: Nếu sinh viên làm video giải thích cho thuyết minh được +2 điểm thưởng vào điểm bài tập! (video giải thích kèm hashtag #EPEE326729 và đăng lên trang cá nhân)

Nội dung nộp bài:

- Thuyết minh (file pdf)
- Các file mô phỏng (nếu có)

ĐỀ BÀI

Yêu cầu 1: Thiết kế mạch biến đổi DC-DC tăng áp:

Điện áp ngõ vào từ 1 cell pin Lipo (3.7V đến 4.2V). Điện áp trung bình ngõ ra 5V, điện áp ripple tối đa 0.5V, tải điện trở có dòng tải tối đa 1A.

1. Tóm tắt lý thuyết (công thức tính toán, thiết kế liên quan)
2. Vẽ sơ đồ nguyên lý, chọn lựa linh kiện (có trên thị trường)
3. Mô phỏng bằng phần mềm:
 - a. Lập bảng so sánh với giá trị tính toán lý thuyết (dòng điện, điện áp qua tải, qua cuộn dây và qua tụ điện)
 - b. Vẽ đồ thị điện áp, dòng điện tải, dòng điện qua cuộn dây. (trong phần mềm mô phỏng)

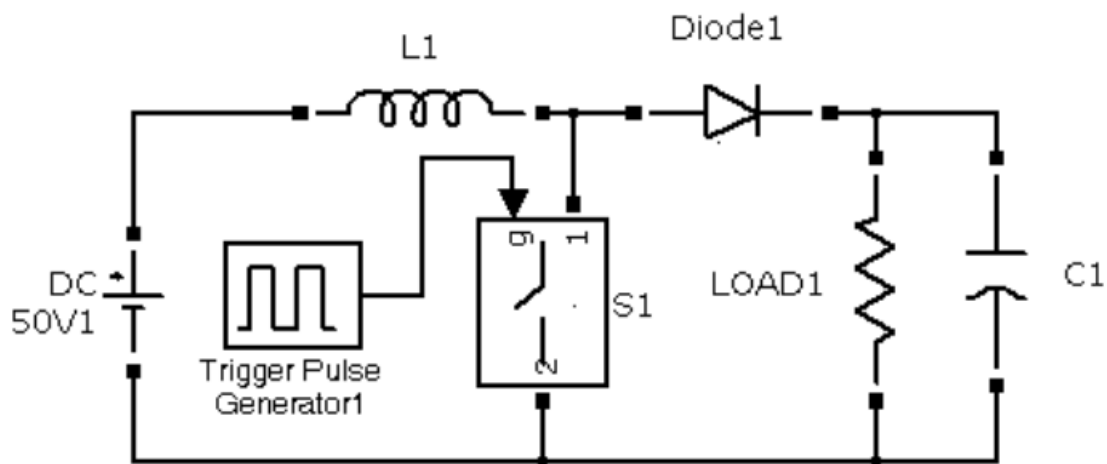
Yêu cầu 2: Lựa chọn IC Boost, Buck-Boost hoặc Inverting có trên thị trường đáp ứng yêu cầu trên (ưu tiên giá thấp nhất, nhà sản xuất Mỹ, Châu Âu). Sau đó:

1. Vẽ mạch nguyên lý. Chọn lựa giá trị linh kiện trong mạch nguyên lý theo tham khảo từ datasheet (có dẫn số công thức và số trang trong datasheet nhà sản xuất)
2. Vẽ mạch in PCB.

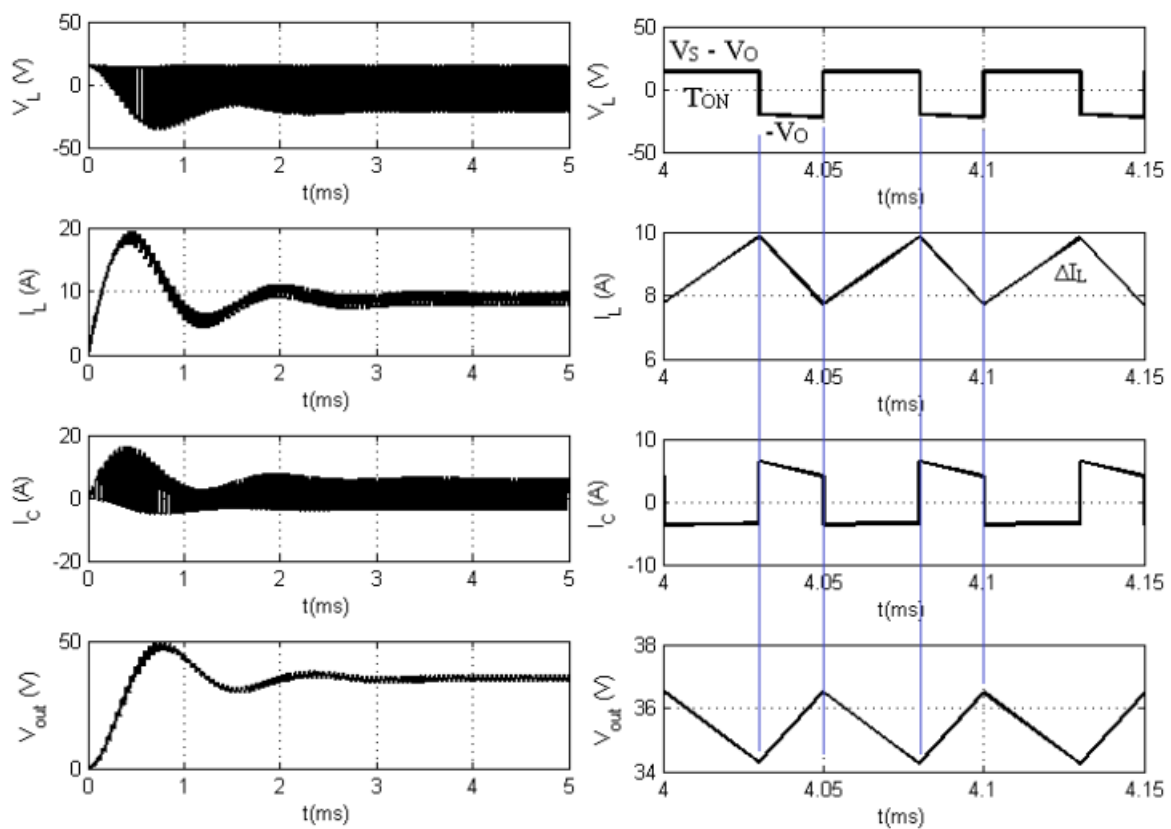
Yêu cầu 1: Thiết kế mạch biến đổi DC-DC tăng áp

1. Tóm tắt lý thuyết

Dựa vào file bài giảng của thầy Nguyễn Minh Triết, môn Điện tử công suất, phần mạch biến đổi DC-DC, trang số 6, ta có sơ đồ nguyên lý và các công thức tính toán cho mạch biến đổi Boost như sau:



Hình 1. 1. Sơ đồ nguyên lý mạch Boost

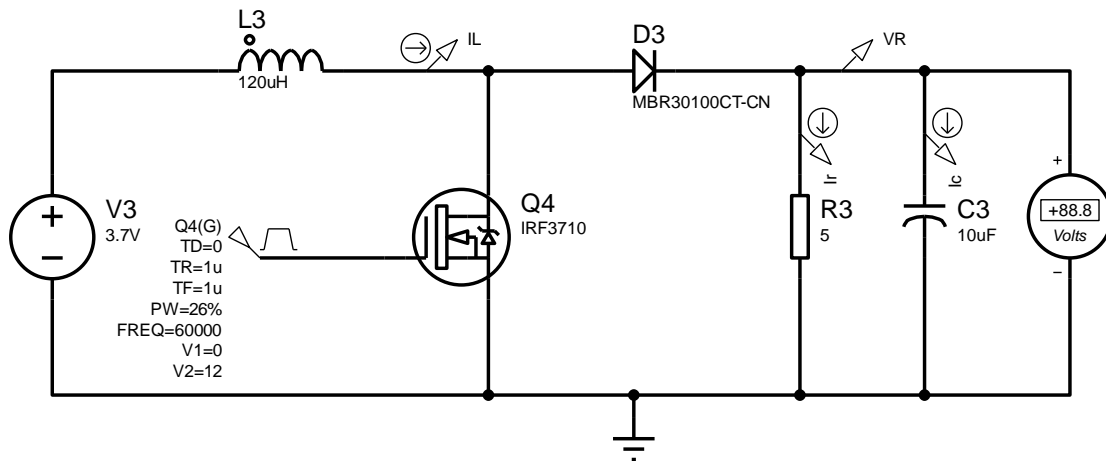


Hình 1. 2. Đồ thị dòng và điện áp qua mạch

Các công thức tính toán

STT	Thông số	Công thức
1	Hệ số điều xung	$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}}$
2	Mối quan hệ giữa điện áp ngõ ra vào ngõ vào	$V_o = \frac{V_s}{1 - D} = \frac{T}{T_{OFF}} V_s$
3	Dòng qua cuộn cảm	$I_L = I_s = \frac{V_s}{R(1 - D)^2}$
4	Dòng nhấp nhô qua cuộn dây	$I_{ripple} = \Delta I_L = T_{ON} \frac{V_s}{L} = T_{OFF} \frac{V_s - V_o}{L}$
5	Giá trị điện cảm qua cuộn dây	$L = \frac{V_s}{I_{ripple}} T_{ON} = \frac{V_o}{f \cdot I_{ripple}} D$
6	Dòng điện cuộn dây max	$I_{Lmax} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_s}{R(1 - D)^2} + \frac{V_s}{2L} DT$
7	Dòng điện cuộn dây min	$I_{Lmin} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_s}{R(1 - D)^2} - \frac{V_s}{2L} DT$
8	Hệ số nhấp nhô	$ripple = \frac{V_{ripple}}{V_o} = \frac{D}{RCf}$
9	Trị số tụ điện	$C = \frac{D}{Rfr}$
10	Trị số cuộn cảm	$L \geq L_{min} = \frac{D(1-D)^2 \cdot R}{2f}$

2. Vẽ sơ đồ nguyên lí, lựa chọn linh kiện



Hình 1. 3. Sơ đồ nguyên lí mô phỏng trên proteus

- Theo công thức số 10 ở phần tóm tắt lý thuyết, ta có khi tần số đóng ngắt mạch càng lớn thì giá trị L mạch yêu cầu càng nhỏ. Tần số f trong mạch thực tế thường chọn lớn ngoài ngưỡng nghe của con người để không gây ảnh hưởng đến thính giác, f thường nằm trong khoảng 25kHz đến 100kHz. Trong bài tập này, em chọn $f = 60 \text{ kHz}$
- Để phù hợp với tần số đóng ngắt của mạch DC-DC tăng áp cũng như chọn linh kiện có sẵn trên thị trường, em chọn Mosfet IRF3710L.
- Link mua hàng: <https://www.thegioiic.com/irf3710l-mosfet-n-ch-100v-57a-to-262-ir>
- Tránh tình trạng dòng điện qua Mosfet tăng lên quá nhanh trong một thời gian ngắn khi vừa mở nguồn, em chọn 1 Diode Schottky MBR30100CT-CN chịu được tần số đóng ngắt cao, chịu được dòng lên tới 30A và điện áp tới 100V, tránh việc đánh thủng Mosfet (trong mô phỏng do thư viện không hỗ trợ Diode Schottky MBR30100CT-CN nên sử dụng con diode có mã gần tương tự là MBR6045WT (chịu dòng 60A, 45V) để mô phỏng)
- Link mua hàng: <https://www.thegioiic.com/mbr30100ct-cn>
- Chọn giá trị $\Delta L = 10\% \cdot I_L$
- Điện áp trung bình ngõ ra là 5V, tải có dòng tối đa là 1A \rightarrow Chọn $R_{\text{tải}} = 5\Omega$.

Trường hợp 1: $V_s = V_{s_{\min}} = 3,7 \text{ [V]}$

➤ Hệ số điều xung: $V_o = \frac{V_s}{1 - D_1} \rightarrow D_1 = 1 - \frac{V_s}{V_o} = 1 - \frac{3,7}{5} = 0,26$

➤ Dòng điện qua cuộn cảm: $I_{L_1} = \frac{V_s}{R(1 - D_1)^2} = \frac{3,7}{5(1 - 0,26)^2} = 1,35(A)$

➤ $\Delta I_{L_1} = 10\% \cdot I_{L_1} = 10\% \cdot 1,35 = 0,135(A)$

➤ $L_1 = \frac{V_s}{f \cdot \Delta I_L} D_1 = \frac{3,7 \cdot 0,26}{60 \cdot 10^3 \cdot 0,135} = 119(\mu H)$

Trường hợp 2: $V_s = V_{s_{\min}} = 4,2 [V]$

- Hệ số điều xung: $D_2 = 1 - \frac{V_s}{V_o} = 1 - \frac{4,2}{5} = 0,16$

- Dòng điện qua cuộn cảm trung bình: $I_{L_2} = \frac{V_s}{R(1 - D_2)^2} = \frac{4,2}{5(1 - 0,16)^2} = 1,19[A]$

➤ $\Delta I_{L_2} = 10\% \cdot I_{L_2} = 10\% \cdot 1,19 = 0,119[A]$

➤ $L_2 = \frac{V_s}{f \cdot \Delta I_L} D_2 = \frac{4,2 \cdot 0,16}{60 \cdot 10^3 \cdot 0,119} = 94[\mu H]$

Từ 2 trường hợp, ta chọn được giá trị L cần thiết:

- $L \geq \max(L_1, L_2) = 119[\mu H]$

⇒ Chọn cuộn cảm xuyên lỗ 120 μH có trên thị trường

⇒ Link mua hàng: <https://www.thegioiic.com/cuon-cam-xuyen-lo-0307-121-120uh-160ma-1-4w>

- $D \geq \max(D_1, D_2) = 0,26$

➤ Trị số tụ điện: $C \geq C_{\min} = \frac{D_{\min}}{R \cdot f \cdot r} = \frac{0,26}{5 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,1} = 8,67[\mu F]$

• Trong đó: $r = \frac{4,2 - 3,7}{5} = 0,1$

- Chọn tụ hóa 10 μF có trên thị trường

- Link mua hàng: <https://www.thegioiic.com/tu-hoa-10uf-450v-10x17mm-xuyen-lo>

➤ Tính toán các thông số khác

V_o	Thông số tính toán	Tính toán
3,7 V	Dòng điện nạp nhô qua cuộn dây	$I_{\text{ripple}_1} = \frac{V_s}{L} DT = \frac{3,7}{120 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 10^3} \cdot 0,26 = 0,134 [A]$
	Dòng điện nguồn cấp	$I_{L_{\text{max}}} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = 1,35 + \frac{0,135}{2} = 1,418 [A]$
		$I_{L_{\text{min}}} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 1,35 - \frac{0,135}{2} = 1,283 [A]$
4,2 V	Dòng điện nạp nhô qua cuộn dây	$I_{\text{ripple}_2} = \frac{V_s}{L} DT = \frac{4,2}{120 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 10^3} \cdot 0,16 = 0,093 [A]$
	Dòng điện nguồn cấp	$I_{L_{\text{max}}} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = 1,19 + \frac{0,119}{2} = 1,25 [A]$
		$I_{L_{\text{min}}} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 1,19 - \frac{0,119}{2} = 1,13 [A]$

Từ các tính toán trên ta có:

- $I_{L_{\text{min}}} = \text{Min} (I_{L_{\text{min}1}}, I_{L_{\text{min}2}}) = 1,13 [A]$
- $I_{L_{\text{max}}} = \text{Max} (I_{L_{\text{max}1}}, I_{L_{\text{max}2}}) = 1,418 [A]$

3. Mô phỏng bằng phần mềm

Phần mềm em sử dụng để mô phỏng là Proteus

- a. **Lập bảng so sánh với giá trị tính toán lý thuyết (dòng điện, điện áp qua tải, qua cuộn dây và qua tụ điện)**

Bảng 1. 1. So sánh giá trị mô phỏng với tính toán lý thuyết

Thông số		Lý thuyết	Mô phỏng
Dòng qua tải	3,7 V	$I_R = 1 [A]$	$I_R = 0,977 [A]$
	4,2 V		$I_R = 0,979 [A]$
Dòng qua cuộn dây	3,7 V	$I_{L1} = 1,35 [A]$	$I_{L1} = 1,539 [A]$
	4,2 V	$I_{L2} = 1,19 [A]$	$I_{L2} = 1,354 [A]$
Dòng qua tụ điện	3,7 V	$I_C = 0 [A]$	$I_C = 0,041 [A]$
	4,2 V		$I_C = 0,113 [A]$
Điện áp qua tải	3,7 V	$V_R = 5 [V]$	$V_R = 4,888 [V]$

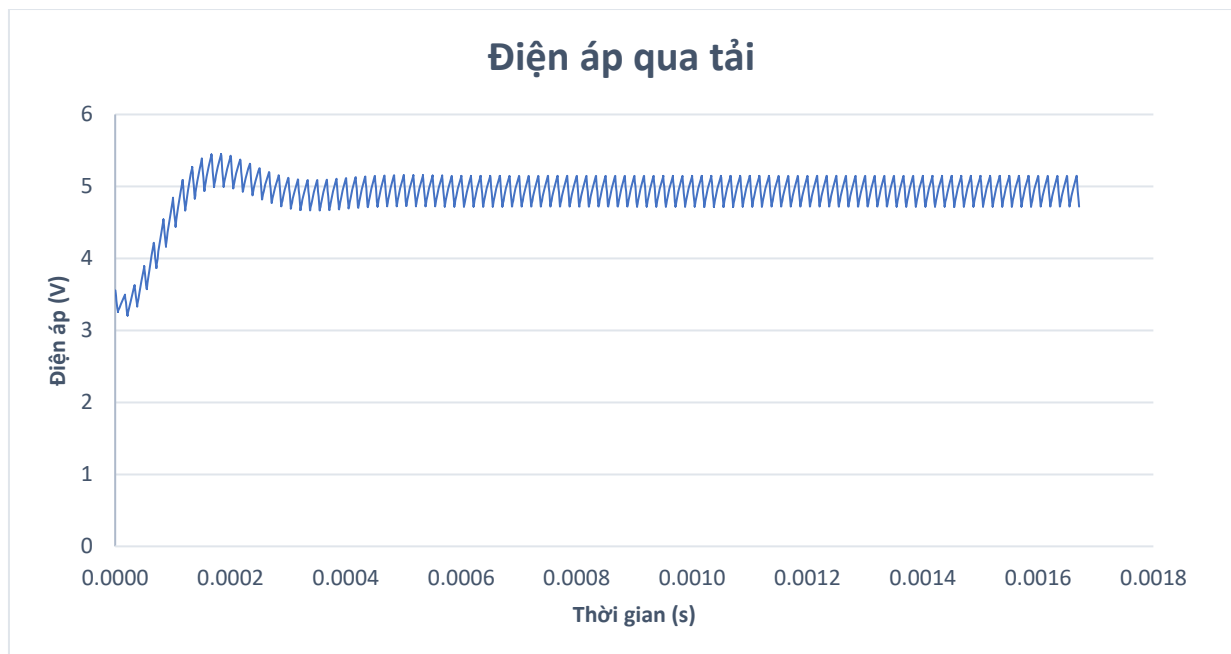
	4,2 V		$V_R = 4,897 \text{ [V]}$
--	-------	--	---------------------------

Nhận xét kết quả: Nhìn vào bảng so sánh giá trị tính toán với giá trị mô phỏng, có thể thấy có sự chênh lệch giữa 2 kết quả, tuy nhiên sự chênh lệch này là nhỏ, do khi tính toán ta bỏ qua rơi áp trên diode nên sẽ có sự chênh lệch. Trên mạch thực tế, ta có thể tăng khoảng 0,5 đến 1% độ rộng xung để tăng các giá trị I_R , I_L , V_R gần hơn với giá trị lí thuyết (công suất tăng thêm từ 1% PWM sẽ bù trừ vào công suất tổn hao trên diode ,...)

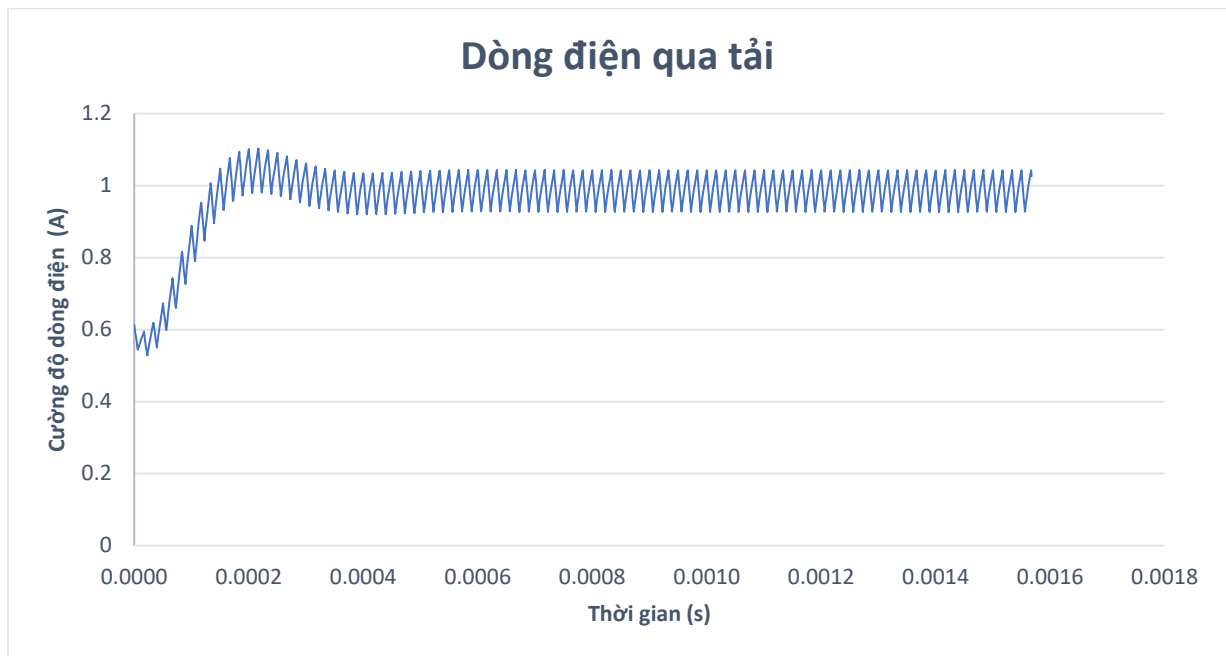
b. Vẽ đồ thị

Do điện áp ngõ vào từ 1 cell pin Lipo (3,7V đến 4,2V) nên để vẽ đồ thị mô phỏng, em sẽ vẽ ở 2 cận là 3,7 V và 4,2 V.

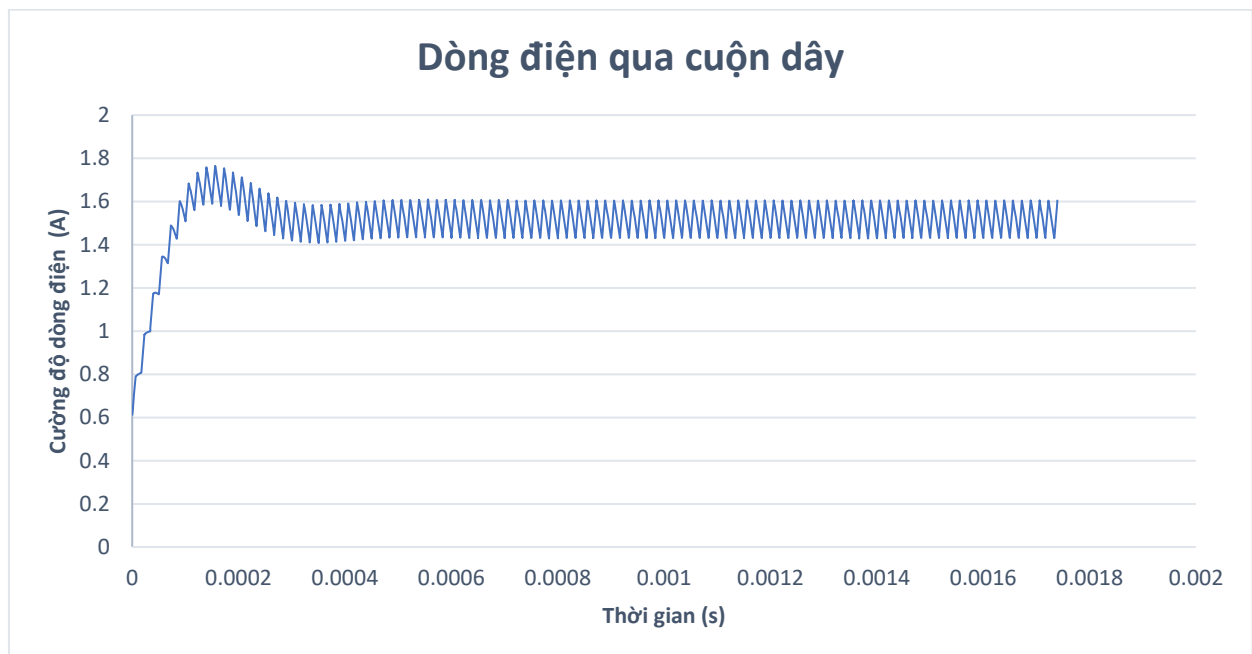
TH1: $V_s = 3,7 \text{ V}$



Hình 1. 4. Đồ thị điện áp qua tải với nguồn vào 3,7 V

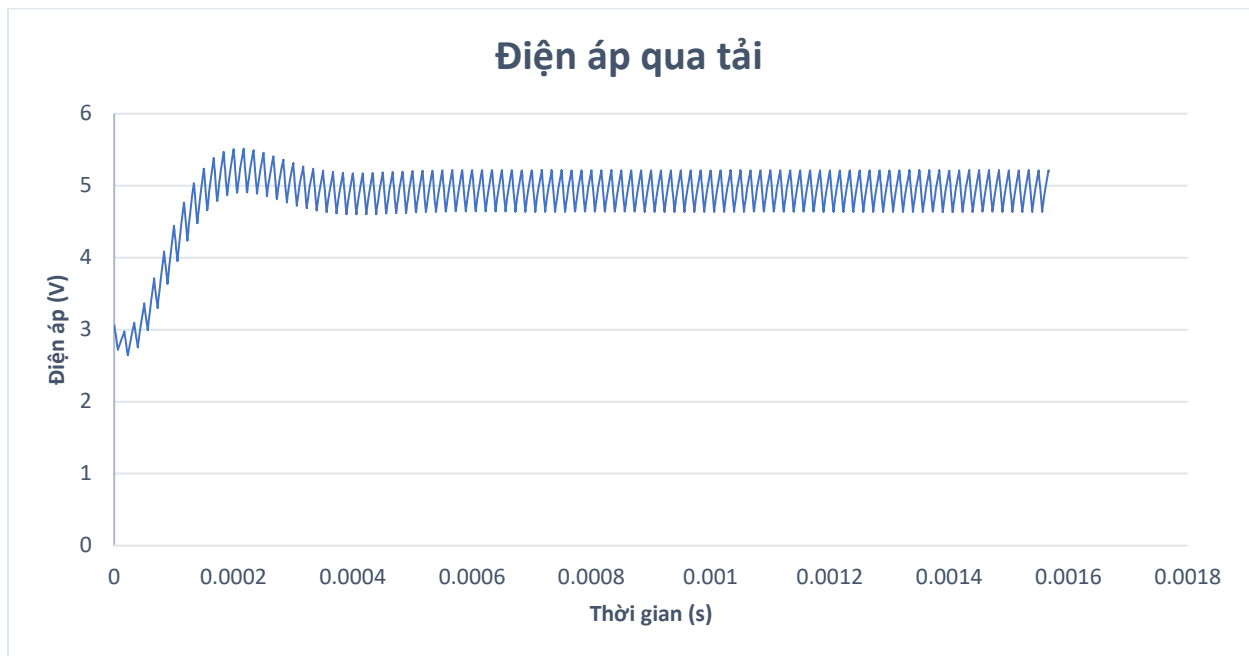


Hình 1. 5. Đồ thị dòng qua tải với nguồn vào 3,7 V

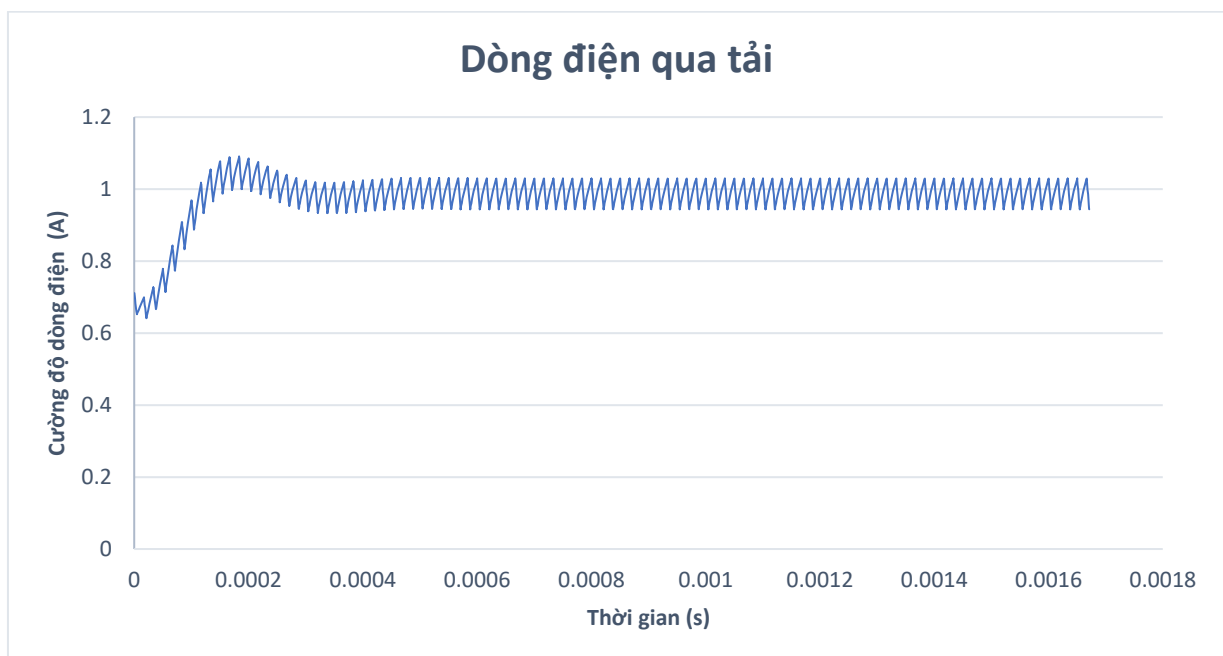


Hình 1. 6. Đồ thị dòng điện qua cuộn dây với nguồn vào 3,7 V

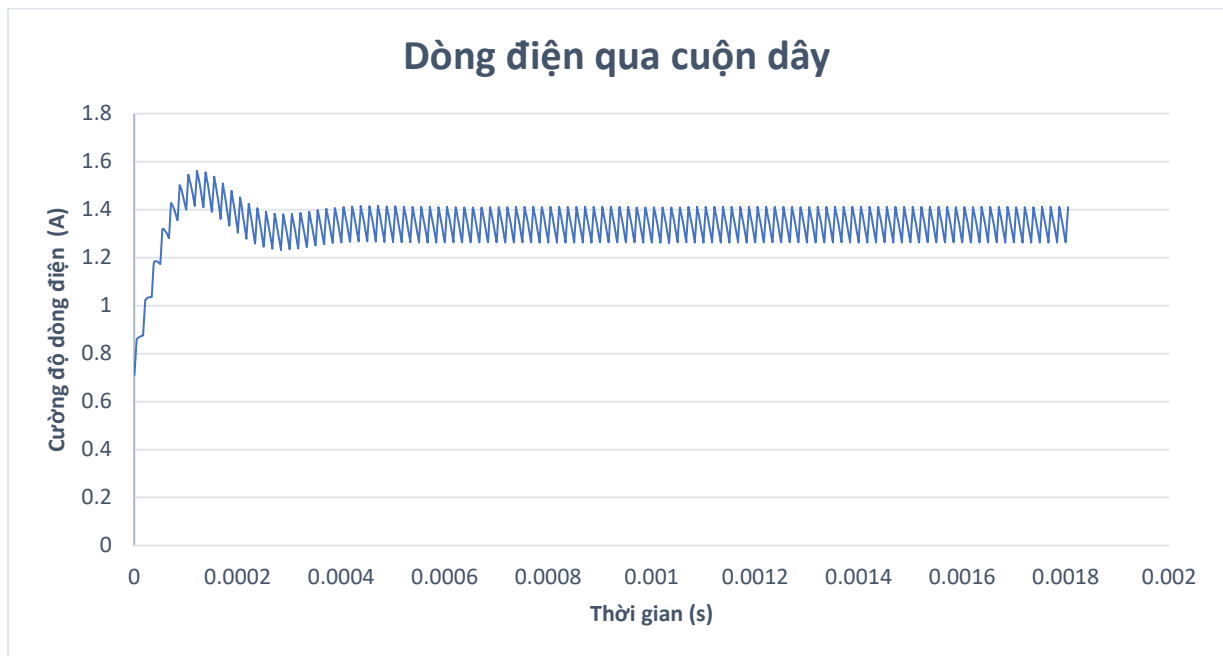
TH2: $V_s = 4,2 \text{ V}$



Hình 1. 7. Đồ thị điện áp qua tải với nguồn vào 4,2 V



Hình 1. 8. Đồ thị dòng qua tải với nguồn vào 4,2 V



Hình 1. 9. Đồ thị dòng điện qua cuộn dây với nguồn vào 4,2 V

Yêu cầu 2: Lựa chọn IC Boost, Buck-Boost hoặc Inverting

1. Lựa chọn IC

Tên	Thông số	Giá	Xuất xứ	Link mua hàng
MIC2875 (mã MIC2875-5.5YMT-T5)	$V_{in\max} = 5,5[V]$ $V_{in\min} = 2,5[V]$ $V_{out\max} = 5,5[V]$ $V_{out\min} = V_{in}[V]$ $I_{\max} = 4,8[A]$ $Temp = -40 \rightarrow +125[^{\circ}C]$	\$1.61 (1-24 cái)	Microchip (Mỹ)	https://www.microchip.com/en-us/product/MIC2875#purchase-from-store
MC33063A (mã MC33063AP)	$V_{in\max} = 40[V]$ $V_{in\min} = 3[V]$ $V_{out\max} = 40[V]$ $V_{out\min} = 1,25[V]$ $I_{out\max} = 1,5[A]$ $Temp = -40 \rightarrow +85[^{\circ}C]$	\$0.755 (1-99 cái)	Texas Instrument	https://www.ti.com/product/MC33063A?keyMatch=MC33063AD&tisearch=search-everything&usecase=OPN#order-quality
TPS61200	$V_{in\max} = 5,5[V]$ $V_{in\min} = 0,3[V]$ $V_{out\max} = 5,5[V]$ $V_{out\min} = 1,8[V]$ $I_{out\max} = 1,35[A]$ $Temp = -40 \rightarrow +85[^{\circ}C]$	\$1.759 (1-99 cái)	Texas Instrument	https://www.ti.com/product/TPS61200

Dựa theo yêu cầu đề bài, các thông số kỹ thuật đáp ứng nguồn cấp, ngõ ra 5V với dòng tối đa 1A, có giá thành phù hợp, IC có thông số đủ dùng, và xuất xứ từ Mỹ hoặc Châu Âu, từ đó em chọn IC MC33063A Có các thông số thỏa mãn những yêu cầu trên.

2. Tính toán, lựa chọn linh kiện

9.2.2 Step-Up Converter Application

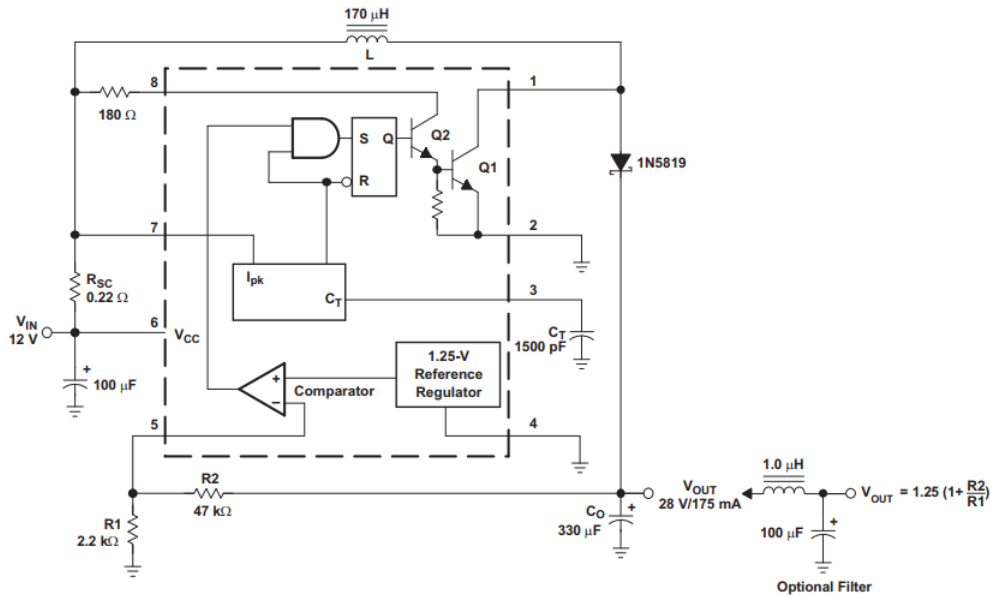


Figure 10. Step-Up Converter

Hình 2. 1. Sơ đồ nguyên lí mạch Boost theo datasheet (trang 13 datasheet)

9.2.2.2 Detailed Design Procedure

CALCULATION	STEP UP
t_{on}/t_{off}	$\frac{V_{out} + V_F - V_{in(min)}}{V_{in(min)} - V_{sat}}$
$(t_{on} + t_{off})$	$\frac{1}{f}$
t_{off}	$\frac{t_{on} + t_{off}}{\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1}$
t_{on}	$(t_{on} + t_{off}) - t_{off}$
C_T	$4 \times 10^{-5} t_{on}$
$I_{pk(switch)}$	$2I_{out(max)} \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right)$
R_{SC}	$\frac{0.3}{I_{pk(switch)}}$
$L_{(min)}$	$\left(\frac{(V_{in(min)} - V_{sat})}{I_{pk(switch)}} \right) t_{on(max)}$
C_O	$9 \frac{I_{out} t_{on}}{V_{ripple(pp)}}$
V_{out}	$1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$ See Figure 10

Hình 2. 2. Công thức tính toán theo datasheet (trang 14)

Tính toán các giá trị

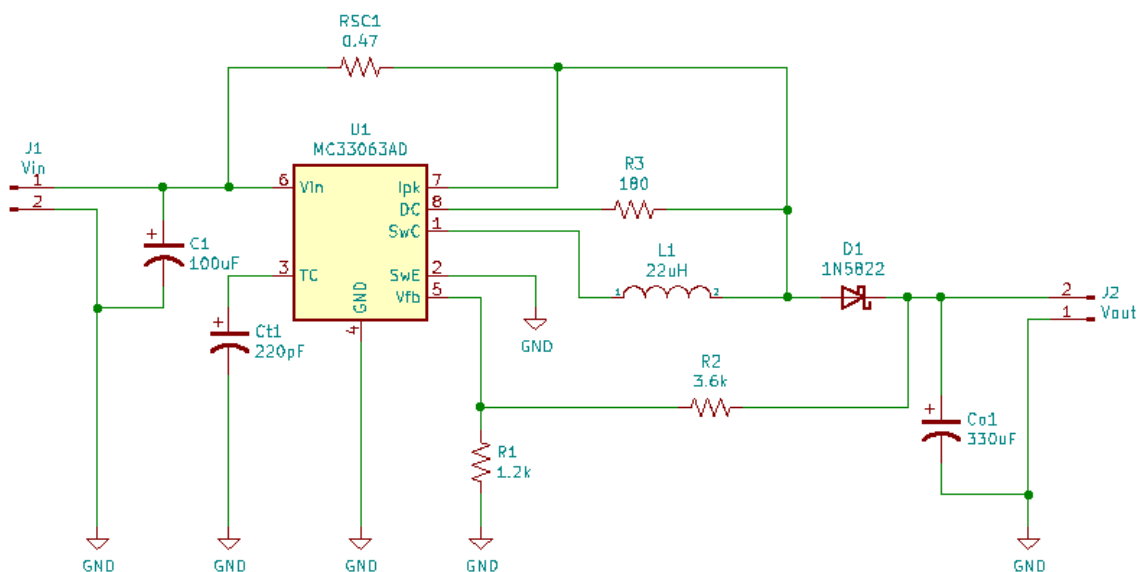
(Các giá trị màu đỏ là giá trị yêu cầu của đề, màu xanh lá cây là giá trị chọn từ linh kiện thực tế, màu xanh dương là theo mặc định của datasheet, màu đen là các giá trị tính toán)

Thông số	Giá trị		Đơn vị	Lựa chọn
V_{in}	3,7	4,2	V	
V_{out}	5		V	
V_f	0,95		V	Diode 1N5822
V_{sat}	1		V	Dilington
f	60		kHz	
$V_{Ripple\ p-p}$	0,4		V	(thỏa mãn < 0,5V)
T_{on}/T_{off}	$\frac{5+0,95-3,7}{3,7-1} = 0,833$			
$T_{on}+T_{off}$	$\frac{1}{60000} = 1,6.10^{-5}$		s	
T_{off}	$\frac{1,6.10^{-5}}{0,833+1} = 8,73.10^{-6}$		s	
T_{on}	$1,6.10^{-5} - 8,73.10^{-6} = 7,27.10^{-6}$		s	
C_{T1}	$4.10^{-5}.7,27.10^{-6} = 2,91.10^{-10}$		F	330 pF
I_{pk}	$2.1. \left(\frac{7,27.10^{-6}}{8,73.10^{-6}} + 1 \right) = 3,67$		A	
R_{SC}	$\frac{0,3}{3,67} = 0,0817$		Ω	0,12 Ω
L_{min}	$\left(\frac{(3,7-1)}{3,67} \right).7,27.10^{-6} = 5,35.10^{-6}$		H	5,6 uH
C_{o1}	$9 \frac{1.7,27.10^{-6}}{0,4} = 1,63.10^{-4}$		F	180 uF
R_1	1,2		k Ω	1,2 k Ω
R_2	3,6		k Ω	3,6 k Ω

Link mua các linh kiện:

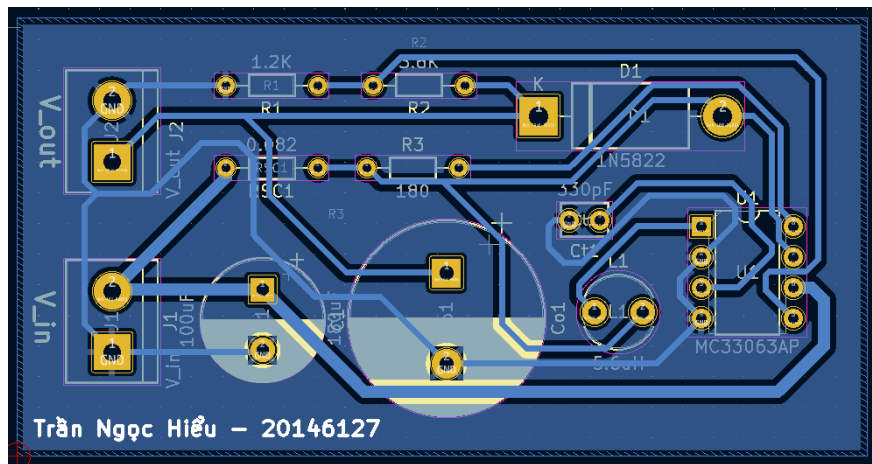
Tên linh kiện	Link mua hàng
Tụ 100 uF	https://www.thegioiic.com/tu-hoa-100uf-80v-10x25mm-xuyen-lo-nichicon
Tụ 180 uF	https://banlinhkien.com/tu-hoa-180uf-200v-16x25mm-p6652972.html
Tụ 330 pF	https://www.thegioiic.com/tu-gom-tron-330pf-50v
Diode 1N5822	https://chotroi.vn/diode-1n5822
Domino 2 chân	https://www.thegioiic.com/kf128v-2-v-domino-2-chan-thang-5mm-han-pcb
Cuộn cảm 5.6uH	https://www.thegioiic.com/cuon-cam-xuyen-lo-0406-560-56uh-500ma
Điện trở 1.2 KOhm	https://linhkiendientuhd.com/shops/Dien-tro/Dien-tro-1-2Kohm-1-4W.html
Điện trở 3.6 KOhm	https://www.thegioiic.com/dien-tro-3-6-kohm-1-6w-5-4-vong-mau
Điện trở 180 Ohm	https://www.thegioiic.com/dien-tro-180-ohm-1w-5-4-vong-mau
Điện trở 0.12 Ohm	https://icdayroi.com/dien-tro-0-12r-1-2w-5-goi-10-con

Vẽ sơ đồ nguyên lý mạch in:

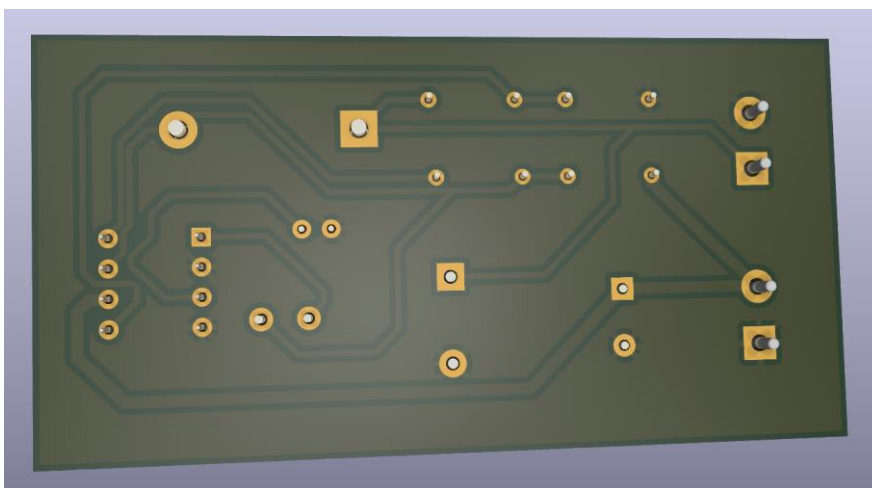
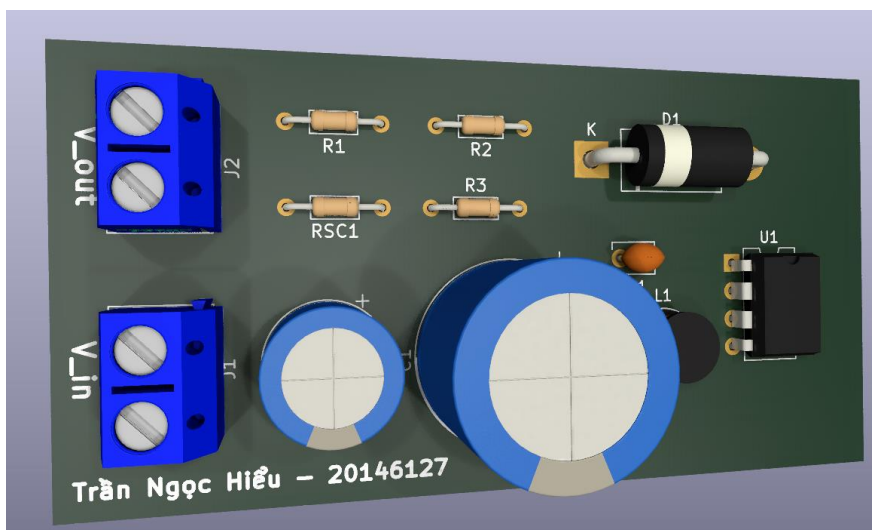


Hình 2. 3. Sơ đồ nguyên lý trên KiCAD

Vẽ mạch in



Hình 2.4. Sơ đồ đi dây trên mạch in



Hình 2.5. Hình ảnh mạch 3D