

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG



BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN
ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT

Đề tài:

THIẾT KẾ MẠCH BOOST CONVERTER 1V–5V

Giảng viên hướng dẫn: TS. Phạm Nguyễn Thanh Loan

Nhóm thực hiện: Nhóm 6

Họ tên	MSSV	Lớp
Nguyễn Minh Hiếu	20151336	Điện tử 3 K60
Đỗ Trọng Hiệp	20155597	CN Điện tử 2 K60
Nguyễn Danh Thuận	20166809	CN Điện tử 2 K61
Phạm Thị Mai Loan	20166376	CN Điện tử 1 K61

Hà Nội, 05-2019

LỜI NÓI ĐẦU

Trong lĩnh vực điện tử công suất, việc chế tạo ra các bộ chuyển đổi nguồn có chất lượng điện áp cao, kích thước nhỏ gọn cho các thiết bị sử dụng điện là hết sức cần thiết. Bộ biến đổi DC – DC tăng áp (Boost Converter) hay được sử dụng ở mạch một chiều trung gian của thiết bị biến đổi điện năng công suất vừa. Cấu trúc của mạch Boost vốn không phức tạp, nhưng vấn đề điều khiển mạch nhằm đạt được hiệu suất biến đổi cao và đảm bảo ổn định luôn là mục tiêu của các công trình nghiên cứu. Và đây cũng là nội dung bài tập lớn của nhóm chúng em “**Thiết kế mạch Boost Converter 1V–5V**”.

Qua bài tập lớn này, chúng em đã được áp dụng những kiến thức được học vào thiết kế một mạch điện tử công suất thực tế và biết cách mô phỏng mạch để kiểm tra sự đáp ứng của mạch với các yêu cầu kỹ thuật đưa ra. Tuy nhiên, bên cạnh những công việc đã làm được, nhóm không thể tránh khỏi những thiếu sót cần được khắc phục và hoàn thiện hơn. Nhóm chúng em rất mong nhận được sự đánh giá và góp ý từ cô và các bạn để có thể hoàn thành đề tài một cách hoàn thiện nhất.

Cuối cùng, chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất tới cô **Phạm Nguyễn Thanh Loan** và các anh (bạn) trên Lab đã tận tình hướng dẫn giúp chúng em có thể hoàn thành được bài tập lớn này, cũng như có thêm nhiều kiến thức hơn trong lĩnh vực điện tử công suất.

MỤC LỤC

Chương 1. Giới thiệu đề tài	6
1.1 Yêu cầu chức năng	7
1.2 Yêu cầu phi chức năng	7
Chương 2. Lập kế hoạch.....	8
Chương 3. Sơ đồ khối.....	9
Chương 4. Tính toán mạch và lựa chọn linh kiện.....	10
4.1 Tính toán lí thuyết mạch Boost Converter	10
4.2 Lựa chọn linh kiện.....	14
4.2.1 Lựa chọn MOSFET	14
4.2.2 Lựa chọn cuộn cảm	14
4.2.3 Lựa chọn tụ điện.....	14
4.2.4 Lựa chọn IC tạo xung và nhận feedback.....	15
Chương 5. Mô phỏng trên LTSpice.....	18
5.1 Sơ đồ mạch.....	18
5.2 Kết quả mô phỏng	18
5.2.1 Điện áp ra	18
5.2.2 Điện áp rơi trên cuộn dây	19
5.2.3 Dòng điện qua cuộn dây.....	19
5.2.4 Công suất đầu ra.....	20
5.2.5 Hiệu suất.....	20
KẾT LUẬN.....	21
TÀI LIỆU THAM KHẢO	22

DANH MỤC HÌNH VẼ

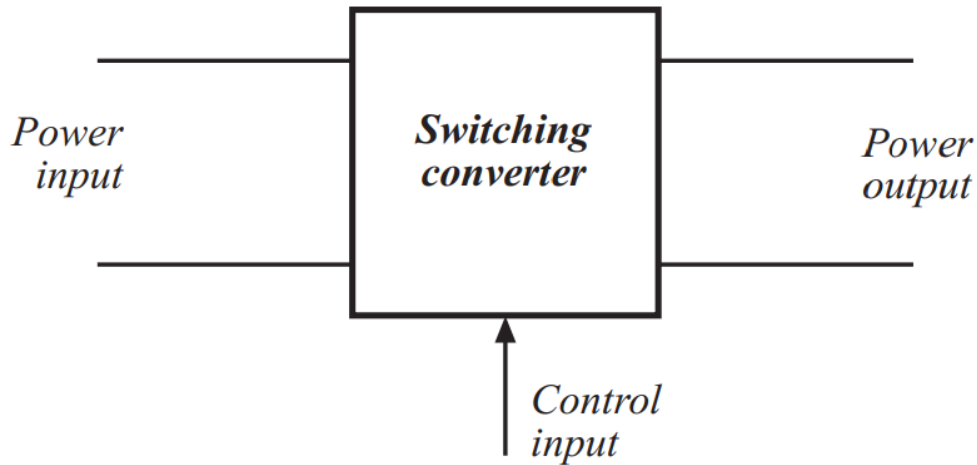
Hình 1.1: Sơ đồ khối tổng quát mạch điện tử công suất	6
Hình 3.1 Sơ đồ khối mạch Boost Converter	9
Hình 4.1 Mạch Boost Converter	10
Hình 4.2 Mạch Boost khi SW1 ON, SW2 OFF	10
Hình 4.3 Mạch Boost khi SW1 OFF, SW2 ON	11
Hình 4.4 Dòng điện qua cuộn dây	12
Hình 4.5 Điện áp trên tụ điện	12
Hình 4.6 Mô hình biến áp mạch Boost Converter	13
Hình 4.7 Sơ đồ bên trong LT1242	15
Hình 4.8 Sơ đồ mạch feedback dùng LT1242	16
Hình 5.1 Sơ đồ mạch Boost Converter	18
Hình 5.2 Kết quả mô phỏng điện áp ra	18
Hình 5.3 Kết quả mô phỏng điện áp rơi trên cuộn dây	19
Hình 5.4 Kết quả mô phỏng dòng điện qua cuộn dây	19
Hình 5.5 Kết quả mô phỏng công suất đầu ra	20
Hình 5.6 Kết quả mô phỏng hiệu suất mạch	20

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1. Bảng phân công việc.....	8
Bảng 4.1 tổng kết các linh kiện trong mạch.....	17

Chương 1. Giới thiệu đề tài

Điện tử công suất là lĩnh vực tập trung nghiên cứu về quá trình xử lý năng lượng điện bằng các thiết bị điện tử. Một mạch điện tử công suất được xem như một bộ chuyển đổi (Switching converter) như trên Hình 1.1.



Hình 0.1: Sơ đồ khối tổng quát mạch điện tử công suất

Một cách tổng quát, một mạch điện tử công suất bao gồm nguồn cấp năng lượng vào (Power input), công suất đưa ra tải (Power output) và tín hiệu điều khiển (Control input). Nguồn đưa vào thường là tín hiệu không ổn định và không phù hợp với yêu cầu của tải, nó sẽ được xử lý bởi khối chuyển đổi (converter) để đưa ra điện áp và dòng điện phù hợp với yêu cầu của tải, quá trình xử lý năng lượng được điều khiển bởi tín hiệu điều khiển (control input).

Mục tiêu khi chế tạo các mạch điện tử công suất là chế tạo được một bộ chuyển đổi công suất với kích thước và khối lượng nhỏ với hiệu suất cao.

Có rất nhiều loại mạch điện tử công suất, nhưng có thể phân thành 4 loại mạch điện tử công suất chính như sau:

- DC–DC conversion
- AC–DC rectification
- DC–AC inversion
- AC–AC cyclo conversion

Trong số đó, mạch chuyển đổi nguồn một chiều (dc-dc conversion) là đơn giản nhất và có nhiều ứng dụng trong thực tiễn như: bộ nguồn, mạch sạc pin, cấp nguồn điều khiển động cơ, mạch chiếu sáng,...

Với mục đích hiểu về quá trình thiết kế mạch điện tử công suất, nhóm em đã phân tích thiết kế mạch Boost – mạch tăng áp chuyển đổi nguồn một chiều.

1.1 Yêu cầu chức năng

- Điện áp nguồn: $V_g = 1 \text{ V}$
- Điện áp ra: $V = 5 \text{ V}$
- Công suất ra: $P_{out} = 3 \text{ W}$
- Tần số: 10 KHz
- Độ gợn sóng điện áp đầu ra : $< 5\%$
- Hiệu suất: $> 90\%$

1.2 Yêu cầu phi chức năng

- Mạch kín, có tín hiệu điều khiển để điều chỉnh Duty cycle (D)
- Cho phép dùng IC điều khiển, IC tạo dao động
- Sử dụng 2 MOSFET, cuộn dây không lý tưởng
- Mô phỏng mạch bằng phần mềm LTspice.

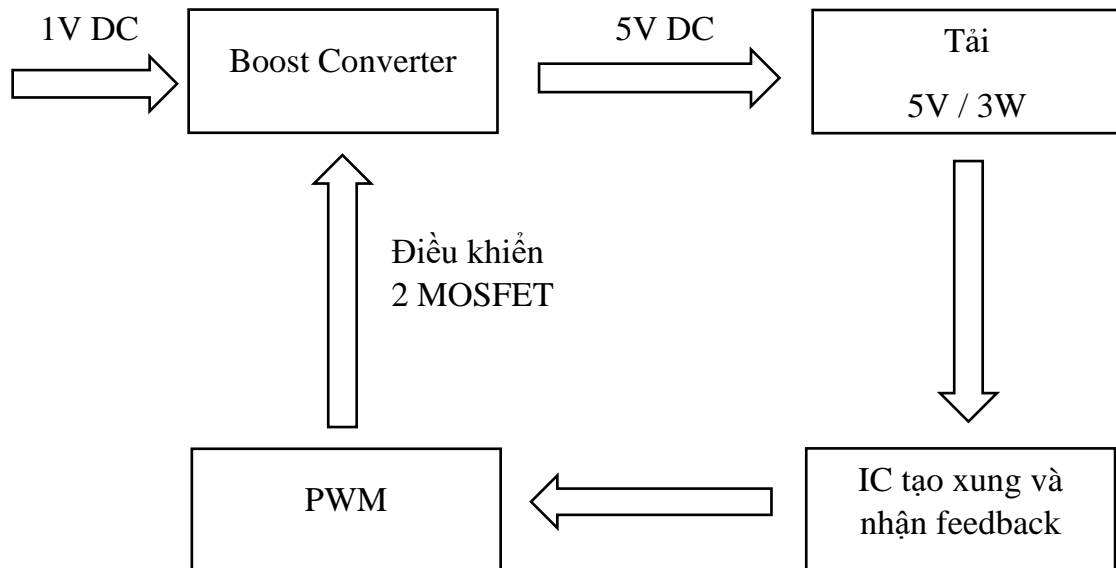
Chương 2. Lập kế hoạch

Để xây dựng được kế hoạch làm việc chi tiết và chính xác cho đề tài, ta cần biết những công việc cụ thể, cũng như khả năng của từng thành viên để phân công công việc sao cho phù hợp nhất. Nhóm em lập bảng phân công công việc như trên bảng 2.1.

Bảng 0.1. Bảng phân công việc

Công việc	Mô tả	Phân công
Lí thuyết mạch Boost	Tính toán mạch Boost không lí tưởng theo lí thuyết	Loan
Tính toán các tham số của mạch Boost theo yêu cầu	Tính các giá trị điện trở, cuộn cảm, tụ điện, duty cycle theo yêu cầu đã ra	Hiệp
Tính toán các tham số IC tạo xung và nhận feedback	Tính các giá trị điện trở, tụ điện trong mạch có IC tạo xung và nhận feedback	Thuận
Vẽ mạch mô phỏng LTSpice	Vẽ mạch theo các tham số đã tính toán trên LTSpice và mô phỏng	Hiếu

Chương 3. Sơ đồ khối



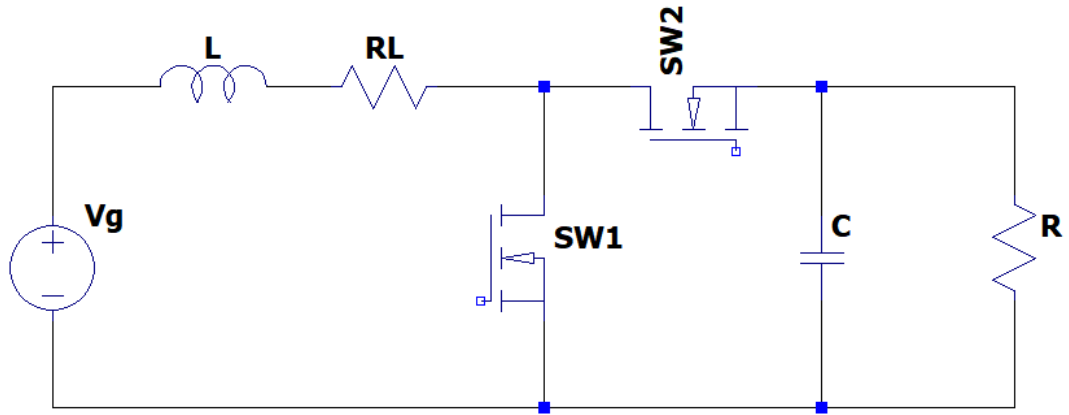
Hình 3.1 Sơ đồ khối mạch Boost Converter

Hình 3.1 mô tả sơ đồ khối của hệ thống. Điện áp 1V DC qua khối Boost converter để tạo ra điện áp yêu cầu đưa ra tải. IC tạo xung và nhận feedback đo đặc điện áp đầu ra sau đó điều chỉnh độ rộng xung sao cho điện áp đầu ra bằng 5V.

Chương 4. Tính toán mạch và lựa chọn linh kiện

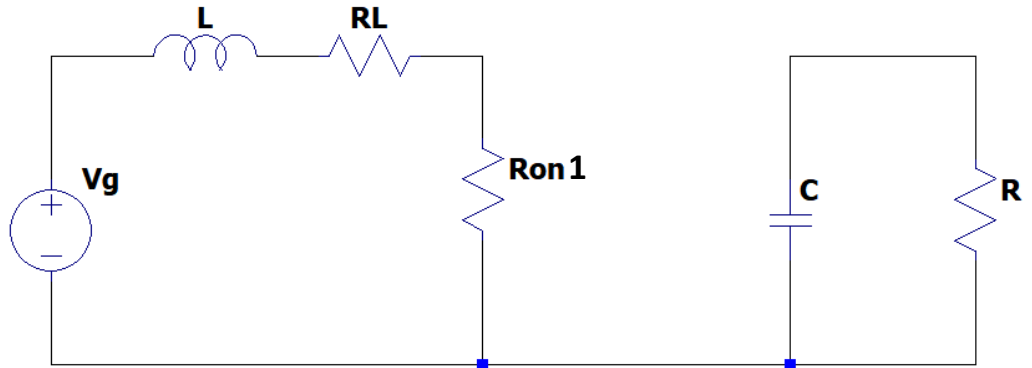
4.1 Tính toán lí thuyết mạch Boost Converter

Hình 3.1 là sơ đồ mạch Boost Converter không lí tưởng sử dụng 2 MOSFET.



Hình 4.1 Mạch Boost Converter

- Subinterval 1: SW1 ON, SW2 OFF

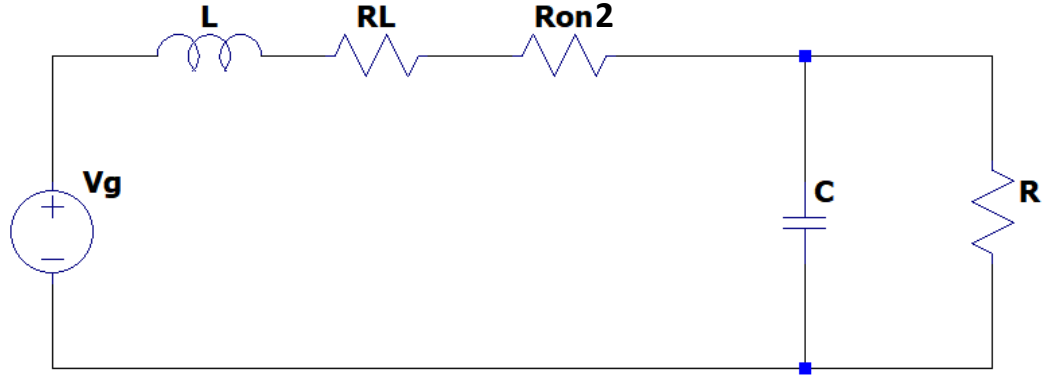


Hình 4.2 Mạch Boost khi SW1 ON, SW2 OFF

$$v_L(t) = V_g - I(R_{on1} + R_L) \quad (1)$$

$$i_c = \frac{-V}{R} \quad (2)$$

- Subinterval 2: SW1 OFF, SW2 ON



Hình 4.3 Mạch Boost khi SW1 OFF, SW2 ON

$$v_L(t) = V_g - V - I (R_{on2} + R_L) \quad (3)$$

$$i_c = I - \frac{V}{R} \quad (4)$$

Áp dụng Capacitor Charge Balance:

$$\langle i_c(t) \rangle = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} i_c(t) dt = 0 \quad (5)$$

$$\Leftrightarrow D \left(\frac{-V}{R} \right) + (1 - D) \left(I - \frac{V}{R} \right) = 0 \quad (6)$$

Kết quả cuối cùng của phương trình trên là:

$$I = \frac{V}{R(1 - D)} \quad (7)$$

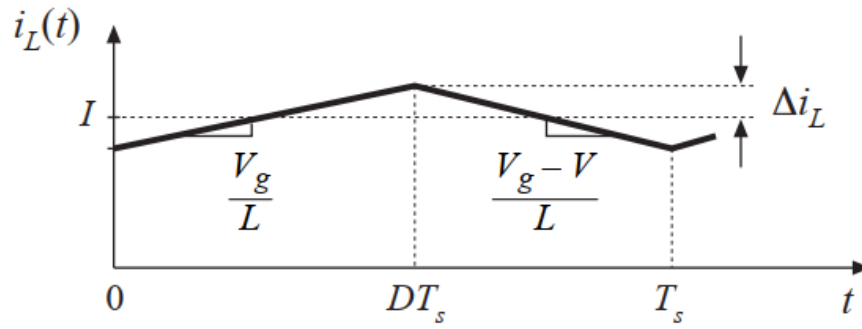
Áp dụng Volt Second Balance:

$$\langle v_L(t) \rangle = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_L(t) dt = 0 \quad (8)$$

$$\Leftrightarrow D \left(V_g - I (R_{on1} + R_L) \right) + (1 - D) \left(V_g - V - I (R_{on2} + R_L) \right) = 0 \quad (9)$$

$$\Leftrightarrow V = \frac{V_g}{1 - D} \frac{R}{R + \frac{DR_{on1} + (1 - D)R_{on2} + R_L}{(1 - D)^2}} \quad (10)$$

➤ Dòng điện qua cuộn dây:

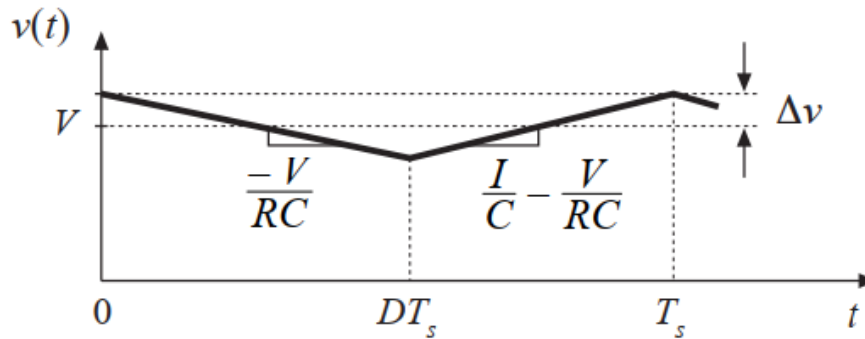


Hình 4.4 Dòng điện qua cuộn dây

Độ gợn sóng dòng điện qua cuộn dây:

$$\Delta i = \frac{V_g - I(R_{on1} + R_L)}{2L} DT_s \quad (11)$$

➤ Điện áp ra:

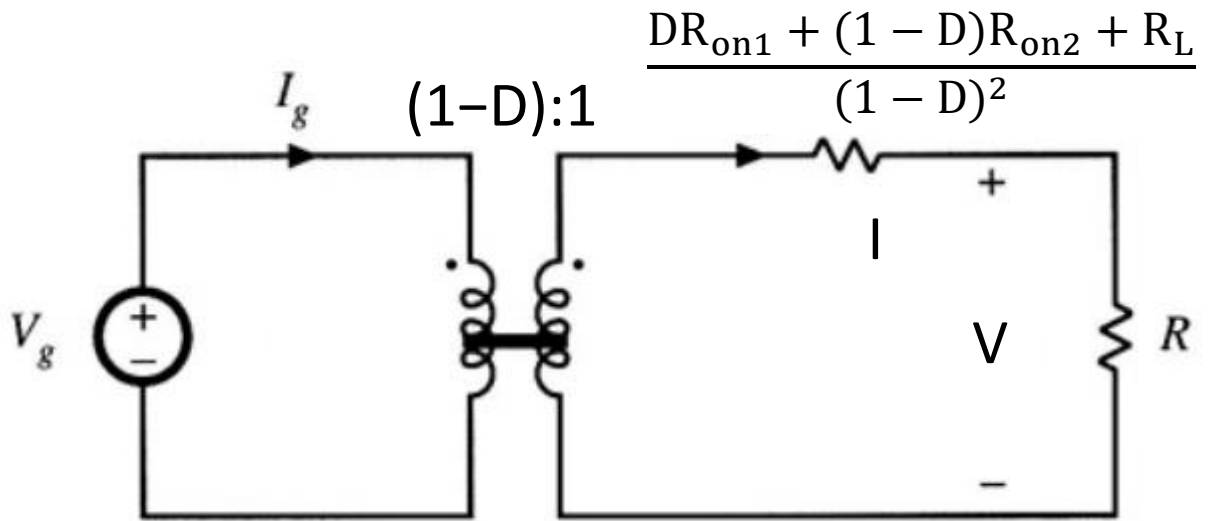


Hình 4.5 Điện áp trên tụ điện

Độ gợn sóng điện áp ra:

$$\Delta v = \frac{V}{2RC} DT_s \quad (12)$$

Mô hình biến áp:



Hình 4.6 Mô hình biến áp mạch Boost Converter

Công suất đầu vào:

$$P_{in} = V_g \frac{I}{1-D} \quad (13)$$

Công suất đầu ra:

$$P_{out} = VI \quad (14)$$

Hiệu suất:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = (1-D) \frac{V}{V_g} \quad (15)$$

$$\eta = \frac{R}{R + \frac{DR_{on1} + (1-D)R_{on2} + R_L}{(1-D)^2}} \quad (16)$$

4.2 Lựa chọn linh kiện

4.2.1 Lựa chọn MOSFET

Nhóm em lựa chọn MOSFET theo các yêu cầu kỹ thuật sau:

- Điện áp ngưỡng: Do điện áp cấp cho khối Boost $V_g = 1V$ nên MOSFET phải có $V_{DS\ max} > 1V$.
- Dòng điện trung bình tối đa: Do tải đầu ra tiêu thụ dòng $I = 0.6\ A$ nên MOSFET phải có $I_{DS\ max} > 0.6\ A$
- Nội trở: Để đảm bảo công suất hao phí dẫn (conduction loss) thì ta chọn MOSFET có nội trở khi dẫn càng nhỏ càng tốt.
- Tần số chuyển mạch: Do tần số chuyển mạch của MOSFET tỉ lệ nghịch với tụ ký sinh giữa các cực nên ta chọn MOSFET có tụ ký sinh nhỏ nhất có thể.

Vì chỉ sử dụng 1 xung clk để điều khiển 2 MOSFET nên cần chọn 2 MOSFET khác loại nhau, 1 loại nMOS và 1 loại pMOS. Nhóm em chọn pMOS loại Si143DP có nội trở 0.0083Ω và nMOS loại Si4466DY có nội trở $0.009\ \Omega$ của hãng Siliconix

Việc giảm tần số hoạt động của mạch lại làm tăng ripple và tăng các giá trị của cuộn cảm và tụ điện, làm tăng kích thước mạch. Vì vậy cần chọn tần số phù hợp nhất.

4.2.2 Lựa chọn cuộn cảm

- Tính duty cycle

Nhóm em chọn cuộn cảm có $R_L = 0.07\Omega$. Từ các giá trị $V_g = 1V$, $V = 5V$, $R_{on1} = 9m\Omega$, $R_{on2} = 8.3m\Omega$, $R_L = 0.07\Omega$, thay vào (10) nhóm em tính được giá trị $D = 0.874$.

Từ (11) để $\Delta i < 5\%$ thì $L > 12\mu H$

- Nhóm lựa chọn loại cuộn cảm $100\mu H \Rightarrow \Delta i = 0.5725\%$

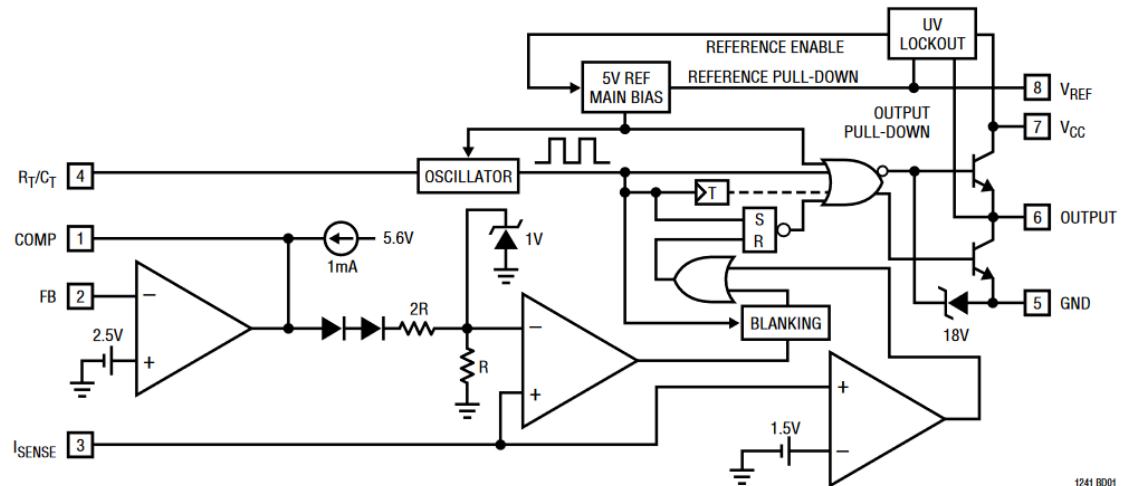
4.2.3 Lựa chọn tụ điện

Từ (12) để $\Delta v < 5\%$ thì $C > 10\mu F$

Nhóm em chọn tụ điện $C = 100\ \mu F \Rightarrow \Delta v = 0.5244\%$

4.2.4 Lựa chọn IC tạo xung và nhận feedback

Nhóm em chọn IC LT1242. Hình 4.7 là sơ đồ bên trong của LT1242.

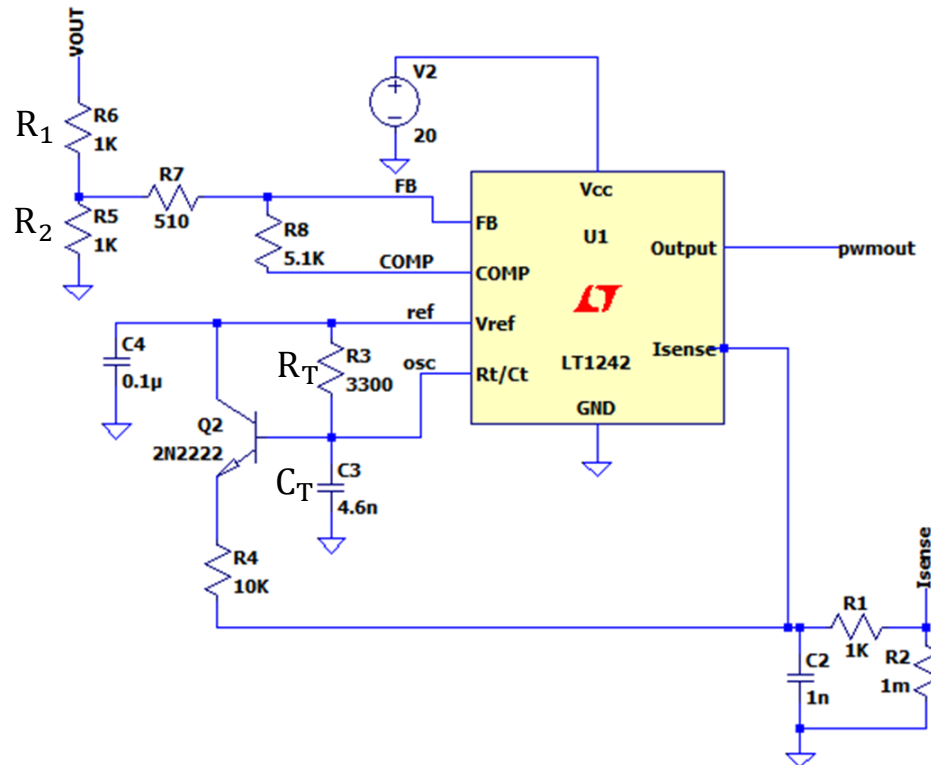


Hình 4.7 Sơ đồ bên trong LT1242

Chức năng các chân của LT1242 là:

- COMP: Chân bù (Compensation). Chân này là đầu ra của bộ Error Amplifier và được sử dụng cho bù vòng (loop compensation)
- FB: Chân phản hồi (Feedback) điện áp. Chân này là đầu vào đảo của bộ Error Amplifier. Điện áp ra được đưa vào chân này thông qua bộ chia áp. Đầu vào không đảo của bộ Error Amplifier được nối với điểm tham chiếu 2.5V
- ISENSE: Cảm biến dòng (Current Sense). Chân này là đầu vào của bộ so sánh cảm biến dòng. Điểm ngắt của bộ so sánh được đặt theo và tỷ lệ với điện áp đầu ra của bộ Error Amplifier
- R_T/C_T : Thiết lập tần số oscillator và duty cycle bằng cách nối một điện trở R_T từ V_{REF} tới R_T/C_T và một tụ điện C_T từ R_T/C_T xuống GND
- GND: Chân nối đất
- OUTPUT: Đầu ra của IC, dùng để điều khiển MOSFET
- V_{CC} : Nguồn cung cấp cho IC hoạt động

- V_{REF} : Chân tham chiếu (Reference). Đầu ra tham chiếu được sử dụng để cung cấp dòng sạc trở lại cho điện trở R_T , cung cấp độ lệch cho phần lớn mạch bên trong và một số mức tham chiếu bao gồm V_{FB} và I_{SENSE}
 - Tính toán mạch feedback dùng LT1242
- Hình 4.8 là sơ đồ mạch feedback dùng LT1242



Hình 4.8 Sơ đồ mạch feedback dùng LT1242

- Hai điện trở R_1 và R_2 được dùng để phân áp tạo ra điện áp 2.5V đưa vào bộ so sánh ở FB. Vì $V=5V$ nên chọn $R_1 = R_2 = 1K\Omega$
- R_T và C_T để tạo chu kỳ T_S và xác định duty cycle D_{max}

Theo datasheet của LT1242:

$$t_{on} = 0.583R_TC_T \quad (17)$$

$$t_{off} = \frac{3.46R_TC_T}{0.0164R_T - 11.76} \quad (18)$$

Giá trị duty cycle max cần lớn hơn duty cycle đã tính toán:

$$D_{\max} = \frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}} > 0.874 \quad (19)$$

Từ bất phương trình (19) tìm được $R_T > 3225\Omega$, nhóm em chọn $R_T = 3300\Omega$

Vì $T_S = t_{\text{on}} + t_{\text{off}} = R_T C_T \left(0.583 + \frac{3.46}{0.0164 R_T - 11.76} \right) = 10\mu s$, thay giá trị R_T vào tính được $C_T = 4.6\text{nF}$

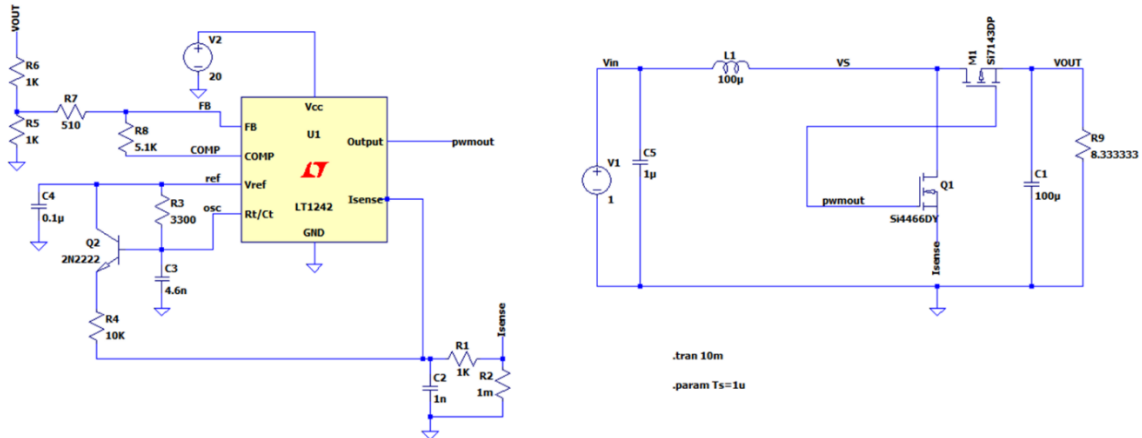
Bảng 4.1 tổng kết các linh kiện trong mạch

Linh kiện	Giá trị
MOSFET Si4466DY	$R_{\text{on1}} = 0.009\Omega$
MOSFET Si143DP	$R_{\text{on2}} = 0.0083\Omega$
Cuộn dây L	$100\mu\text{H}$
Tụ điện C	$100\mu\text{F}$
Điện trở phân áp R_1 và R_2	$R_1 = R_2 = 1\text{K}\Omega$
Điện trở R_T	3300Ω
Tụ điện C_T	4.6 nF

Chương 5. Mô phỏng trên LTSpice

5.1 Sơ đồ mạch

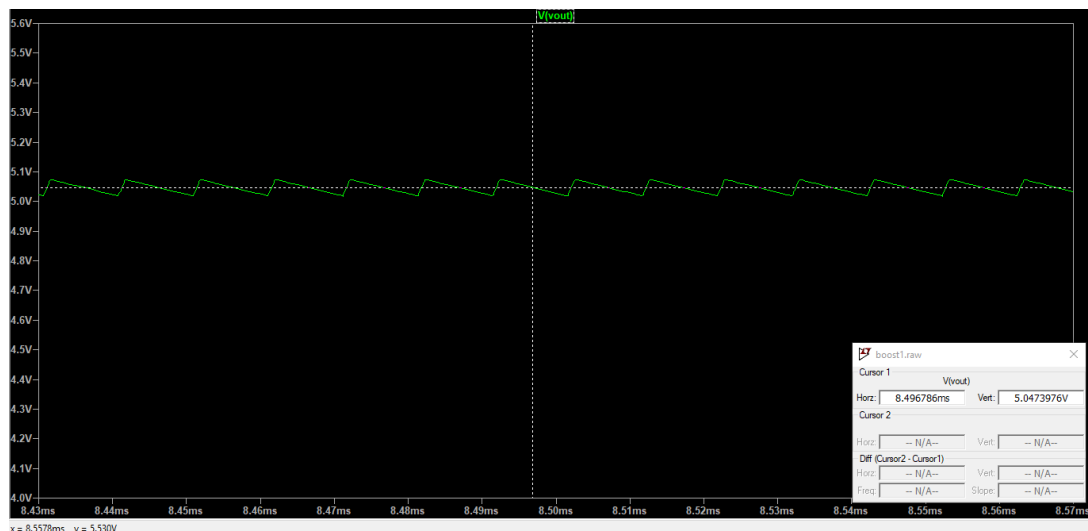
Hình 5.1 là sơ đồ toàn bộ mạch Boost Converter trên LTSpice.



Hình 5.1 Sơ đồ mạch Boost Converter

5.2 Kết quả mô phỏng

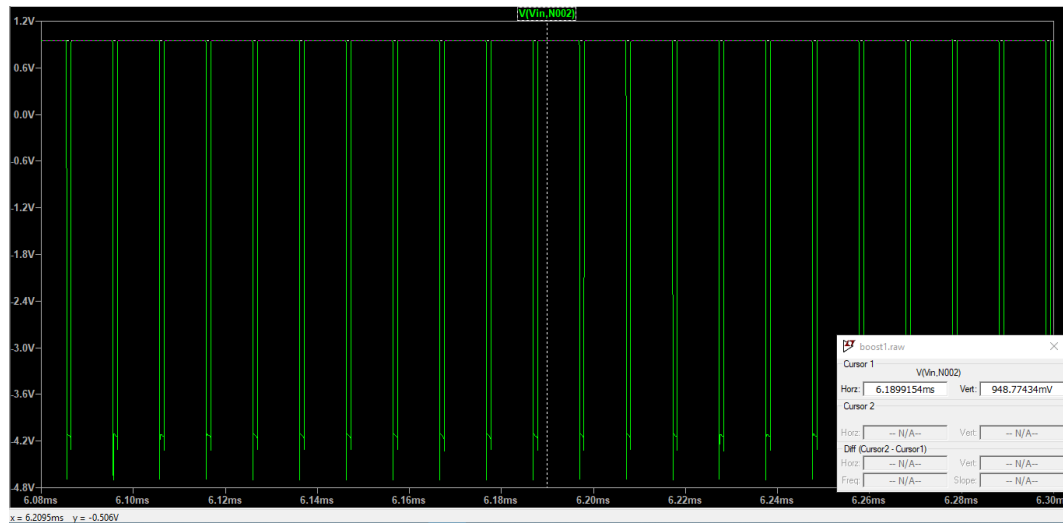
5.2.1 Điện áp ra



Hình 5.2 Kết quả mô phỏng điện áp ra

Kết quả mô phỏng cho thấy giá trị trung bình điện áp ra xấp xỉ 5V, độ gợn sóng Δv xấp xỉ 0.5% phù hợp với lý thuyết.

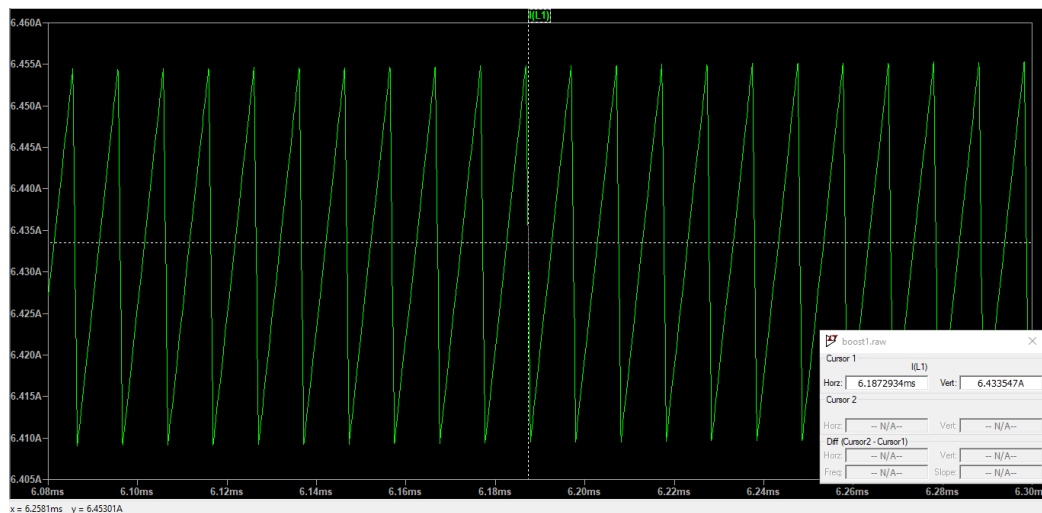
5.2.2 Điện áp rơi trên cuộn dây



Hình 5.3 Kết quả mô phỏng điện áp rơi trên cuộn dây

Điện áp trên cuộn dây có dạng các xung vuông theo giá trị $D=0.874$

5.2.3 Dòng điện qua cuộn dây

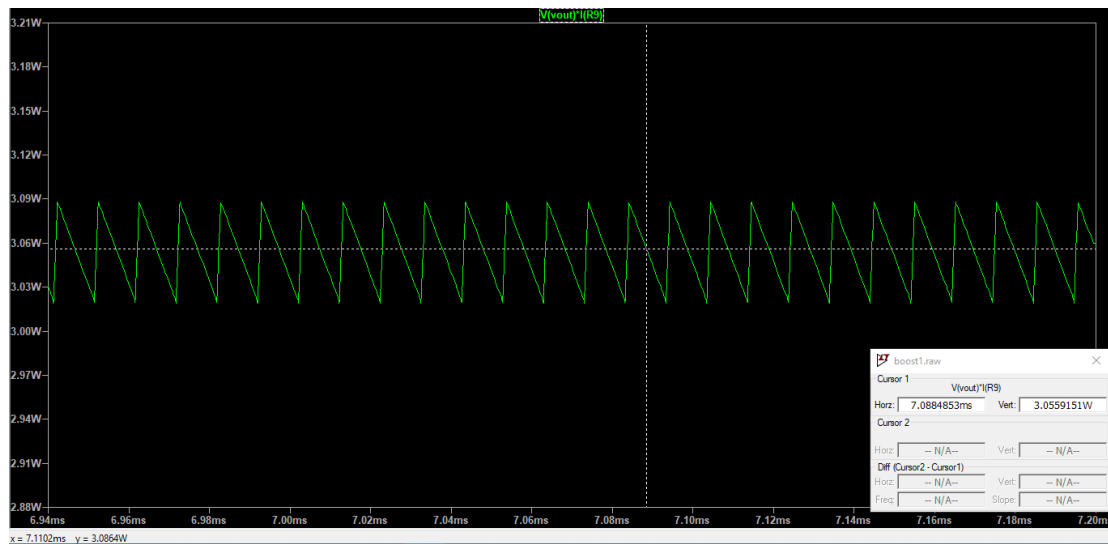


Hình 5.4 Kết quả mô phỏng dòng điện qua cuộn dây

Giá trị trung bình của dòng qua cuộn dây có sự sai khác so với lý thuyết

($\frac{V}{(1-D)R} = 4.76A$), trong khi đó mô phỏng ra giá trị khoảng 6.4A. Độ gợn sóng khoảng 0.3%.

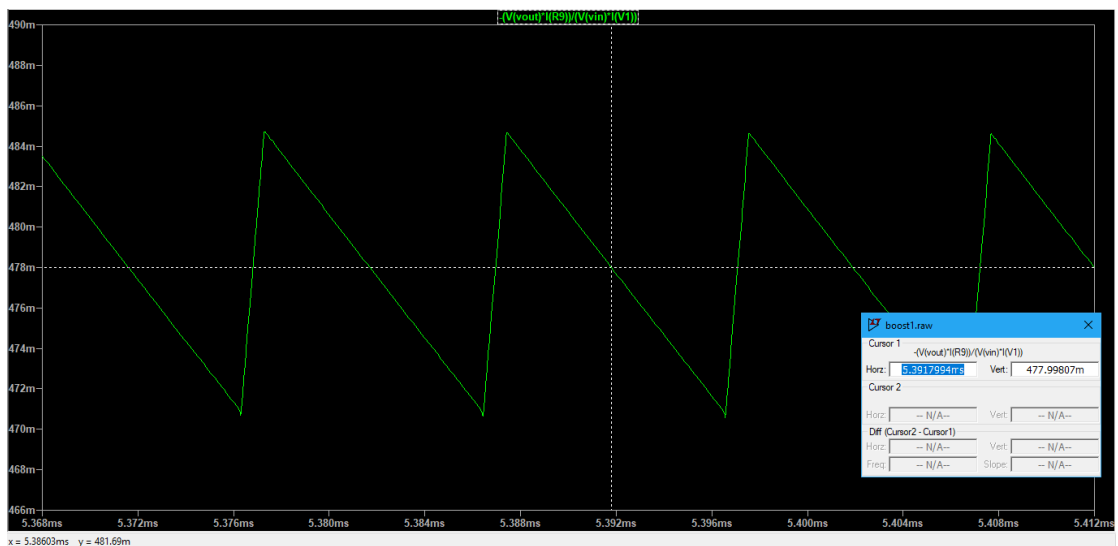
5.2.4 Công suất đầu ra



Hình 5.5 Kết quả mô phỏng công suất đầu ra

Kết quả cho thấy công suất ra xấp xỉ 3W đúng theo yêu cầu đã đặt ra.

5.2.5 Hiệu suất



Hình 5.6 Kết quả mô phỏng hiệu suất mạch

Hiệu suất mạch mô phỏng chỉ đạt gần 50%, thấp hơn so với lí thuyết (63%)

KẾT LUẬN

Nhóm em đã hoàn thành mô phỏng mạch Boost Converter 1V–5V sử dụng 2 MOSFET và mạch feedback vòng kín. Kết quả đã khá sát với lý thuyết và theo yêu cầu, mặc dù giá trị dòng qua cuộn dây chưa thực sự đúng và hiệu suất còn thấp. Nguyên nhân có thể do sai sót trong việc lựa chọn cuộn dây hoặc MOSFET. Nhóm sẽ tìm hiểu và khắc phục trong thời gian tới. Chúng em xin cảm ơn sự hướng dẫn của TS. Phạm Nguyễn Thanh Loan đã giúp nhóm chúng em thực hiện đề tài này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Robert W.Erickson, “Fundamentals of Power Electronics”, 2nd edition, Kluwer Academic Publishers, 2004.

[2] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt1241.pdf>