

**Bài giảng**

# NGUỒN ĐIỆN

## Chương 3: Thiết kế bộ nguồn chuyển mạch PWM

Biên soạn: TS. Phạm Thanh Huyền

# Nội dung học phần

## Chương 1: Tổng quan chung

1.1. Mở đầu

1.2. Nguyên tắc hoạt động của các bộ nguồn ổn áp

## Chương 2: Các bộ biến đổi DC/DC

2.1. Nguyên tắc chung của biến đổi DC/DC

2.2. Các loại mạch cơ bản

2.3. Một số sơ đồ thực tế

## Chương 3: Thiết kế bộ nguồn chuyển mạch đóng ngắt điều chế độ rộng xung

3.1. Giới thiệu chung

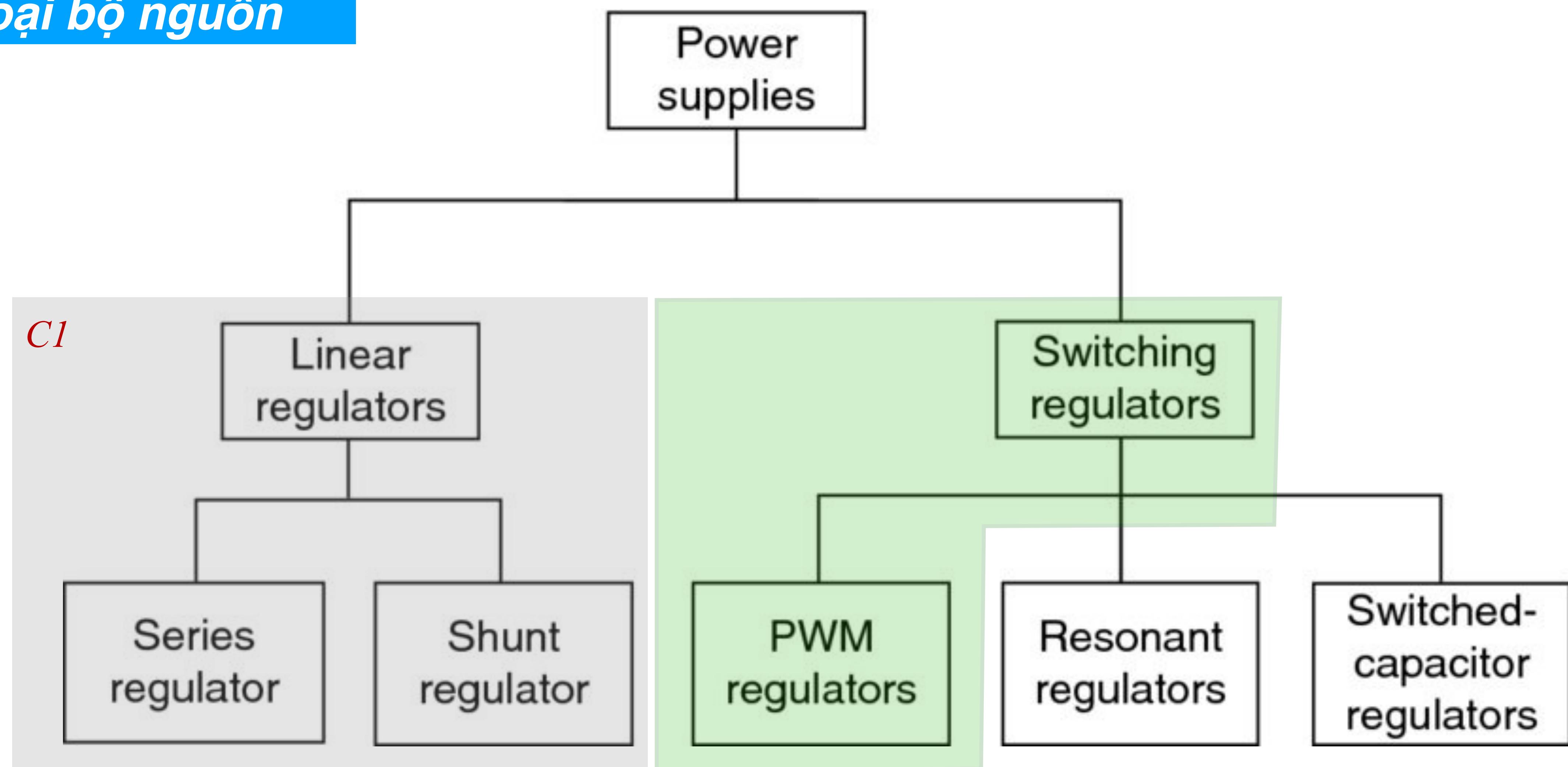
3.2. Thiết kế các khối cơ bản

3.3. Tính toán công suất cho bộ nguồn

3.4. Mô phỏng trên máy tính

# Giới thiệu chung

## Phân loại bộ nguồn



*PWM - Pulse Width Modulation: điều chế độ rộng xung*

# Mục đích và yêu cầu của bộ nguồn chuyển mạch SMPS

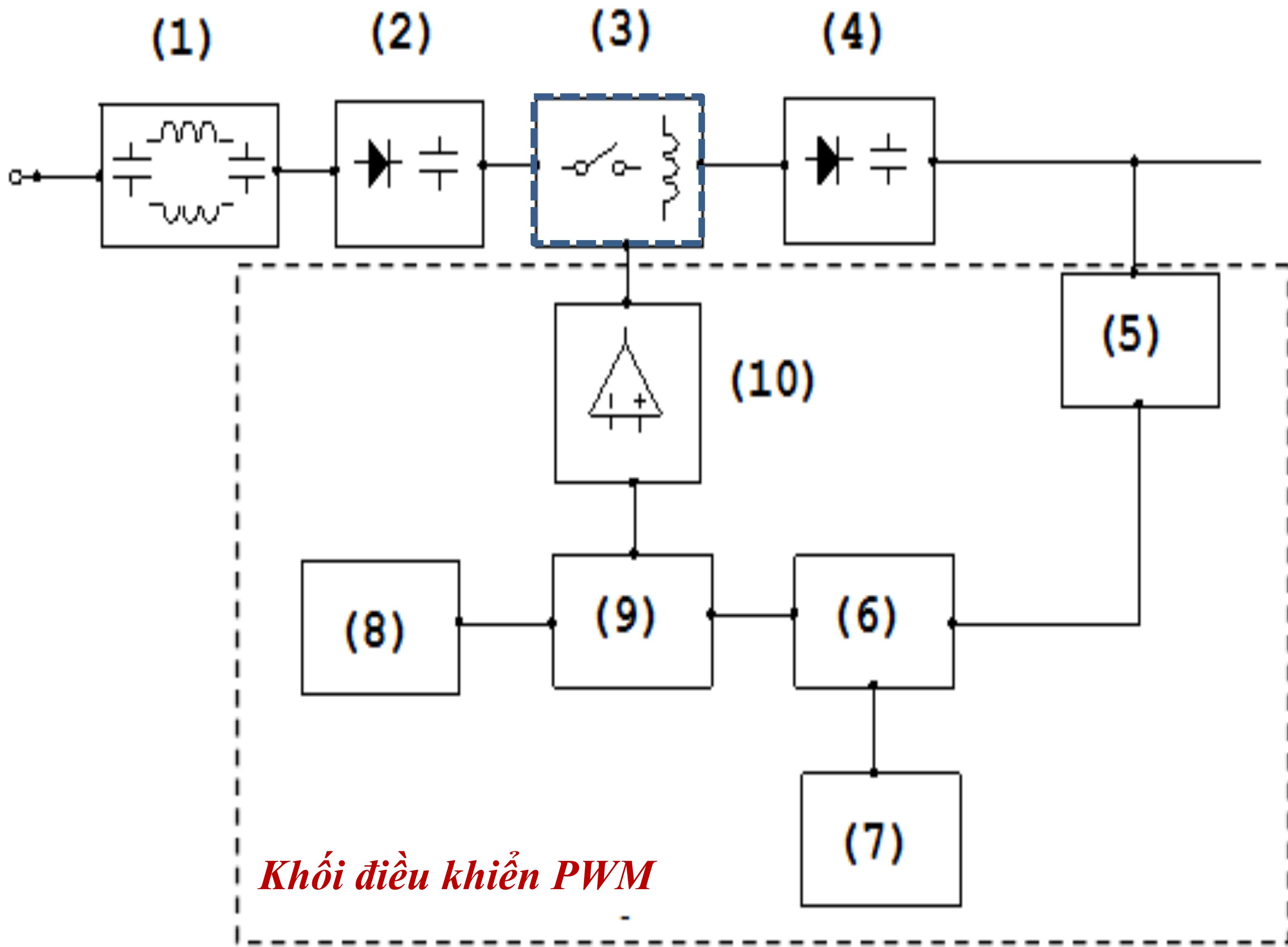
Xu hướng phát triển chính của việc thiết kế mạch nguồn bao gồm:

- Làm cho kích thước và trọng lượng của bộ nguồn trở nên nhỏ gọn hơn**
- Tăng công suất đầu ra**
- Tăng hiệu suất**
- Mật độ công suất cao hơn**
- Tần số chuyển mạch lớn hơn**
- Tích hợp nhiều chức năng hơn trong một IC.**

....

Việc **thiết kế mạch nguồn** và **lựa chọn thông số** của nó phụ thuộc vào yêu cầu của đầu vào và đầu ra. Có rất nhiều vấn đề cần quan tâm trong việc này như: **lựa chọn dạng mạch**, **tần số hoạt động**, **thông số của biến áp**, **ảnh hưởng của RFI** nhưng quan trọng nhất là giải pháp thiết kế **khối điều khiển** và **khối công suất** (bộ DC/DC).

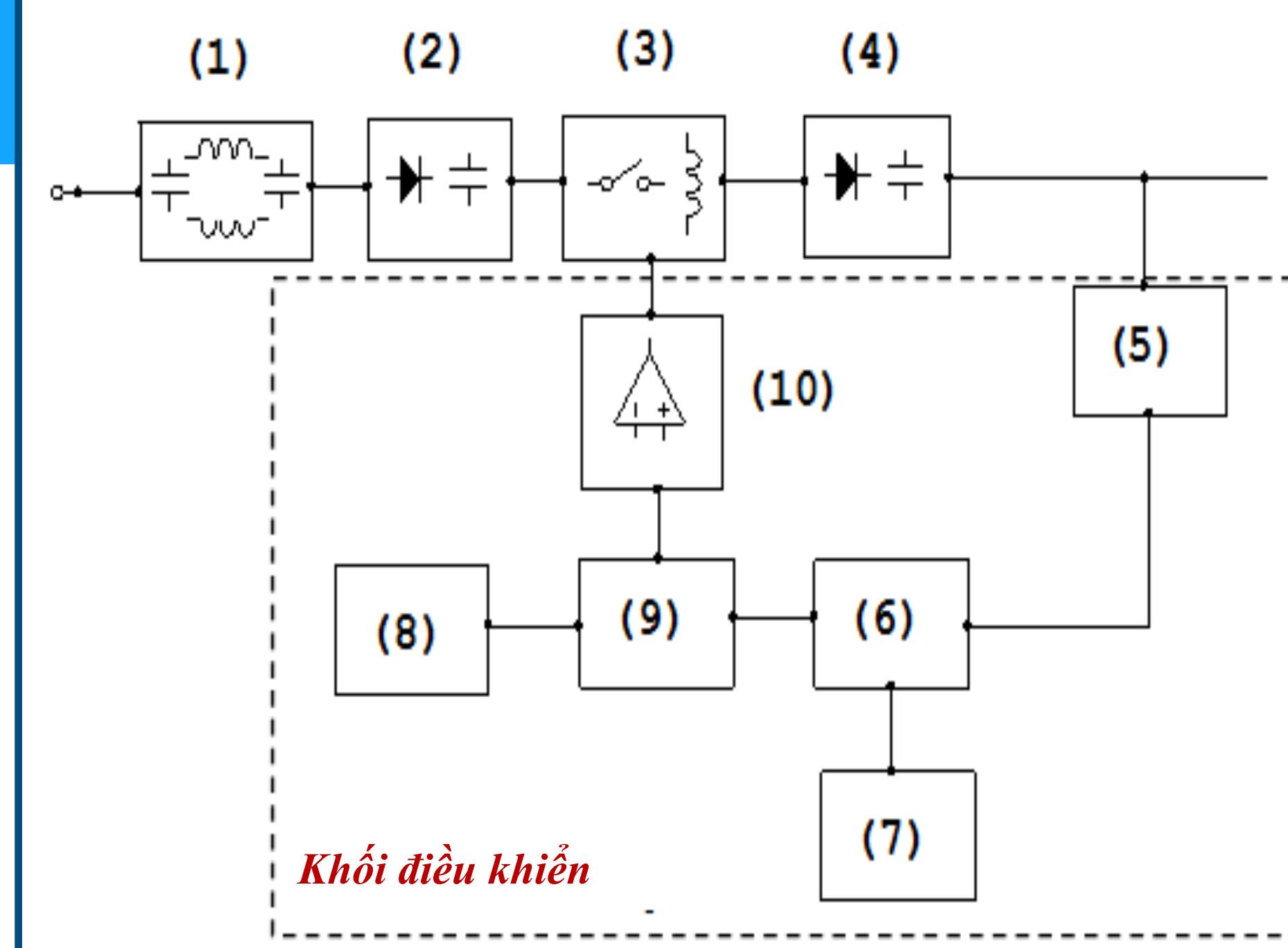
# Sơ đồ khối chi tiết của một bộ nguồn SMPS kiểu PWM



- 1). Lọc nhiễu tần số cao
- 2). Bộ nắn và lọc sơ cấp
- 3). Phần chuyển mạch chính
- 4). Bộ nắn và lọc thứ cấp
- 5). Hồi tiếp để lấy mẫu điện áp ra
- 6). Khuếch đại sai lệch giữa điện áp lấy mẫu và điện áp chuẩn
- 7). Bộ tạo điện áp chuẩn
- 8). Bộ tạo xung tam giác
- 9). Bộ điều chế độ rộng xung - PWM
- 10). Bộ khuếch đại kích thích và đảo pha để điều khiển phần chuyển mạch chính.

# Nguyên tắc hoạt động

Điện áp xoay chiều đầu vào được đưa qua mạch lọc nhiễu cao tần (1), mạch nắn và lọc sơ cấp (2) thành điện áp một chiều không ổn định. Điện áp này được đưa qua bộ chuyển mạch tần số cao (3) với tần số từ 10 KHz đến 500 KHz để chuyển thành dạng xung trước khi qua mạch nắn và lọc thứ cấp (4) để có dạng một chiều ổn định.



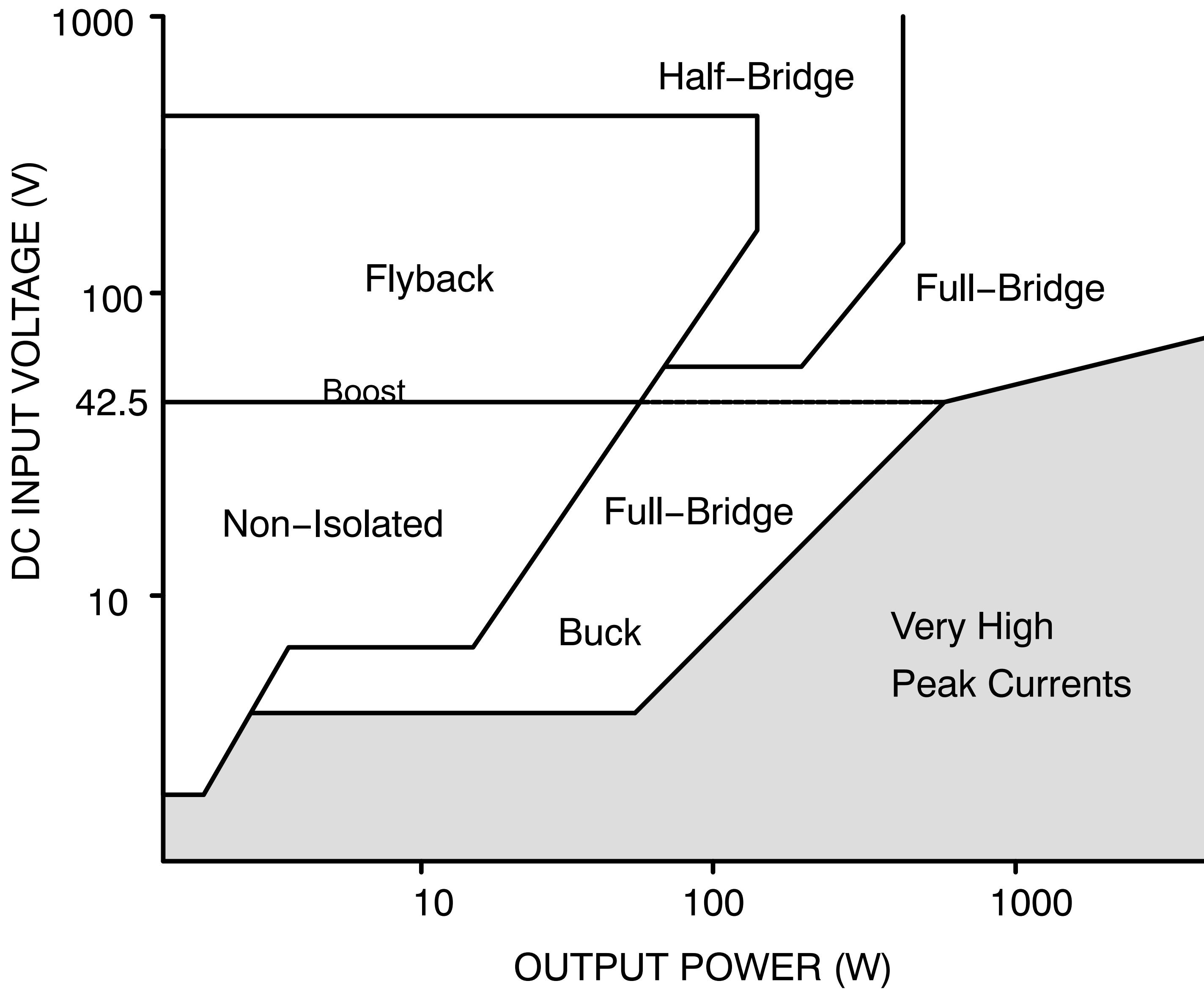
Tín hiệu đầu ra được lấy mẫu qua mạch (5) để đưa tới bộ khuếch đại vi sai (6) cùng với tín hiệu lấy ra từ khối tạo điện áp chuẩn (7). Tín hiệu ra khỏi bộ khuếch đại vi sai được đưa tới bộ điều chế độ rộng xung (9) cùng với tín hiệu ra của bộ tạo xung (8). Tín hiệu sau điều chế sẽ được đưa tới bộ khuếch đại kích thích (10) để điều khiển khối chuyển mạch cao tần.

# LỰA CHỌN DẠNG MẠCH NGUỒN

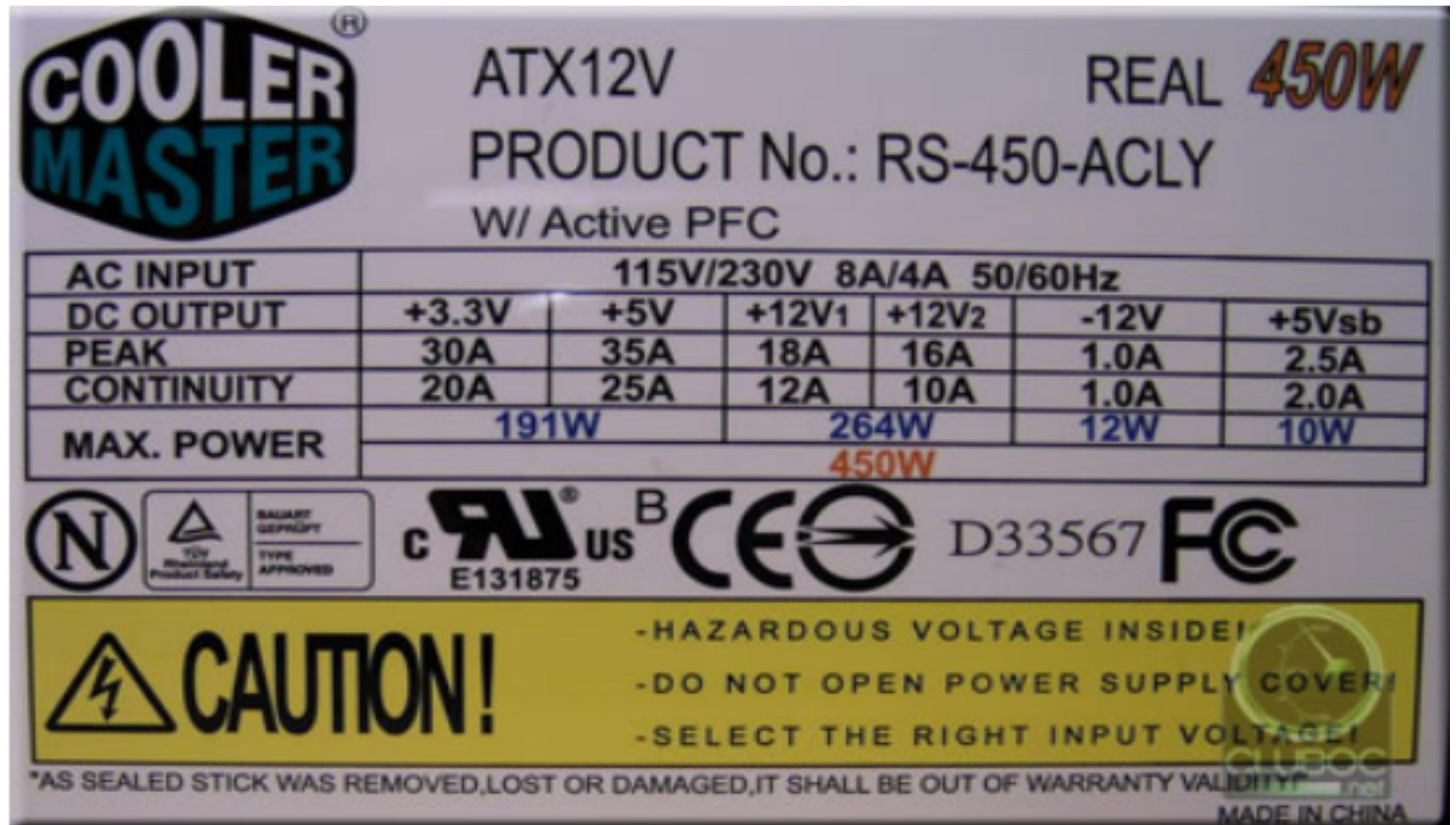
Bảng phân loại SMPS theo phần tử trong mạch:

Dạng mạch	Điện áp đầu ra	Cuộn dây	Biến áp	Diode	Transistor	Sơ đồ mạch
<b>Buck</b>	Giảm	Có	Không	1	1	Đơn giản
<b>Boost</b>	Tăng	Có	Không	1	1	Đơn giản
<b>Buck-Boost</b>	Tăng/giảm	Có	Không	1	1	Đơn giản
<b>Hồi tiếp</b>	Tăng/giảm	Không	Có	1	1	Bình thường
<b>Thuận</b>	Tăng/giảm	Có	Có	1	1	Bình thường
<b>Đẩy kéo</b>	Tăng/giảm	Có	Có	2	2	Phức tạp
<b>Bán cầu</b>	Tăng/giảm	Có	Có	4	2	Phức tạp
<b>Toàn cầu</b>	Tăng/giảm	Có	Có	4	4	Rất phức tạp

## Bảng phân loại SMPS theo điện áp vào và công suất ra



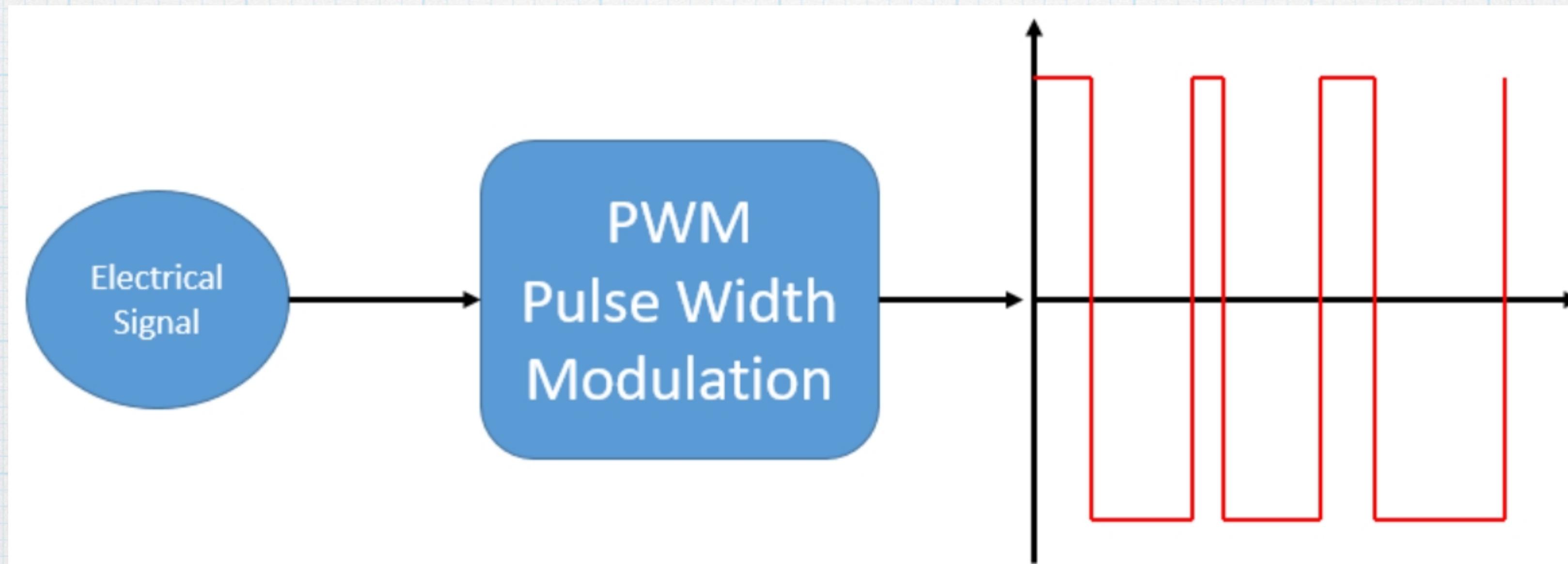
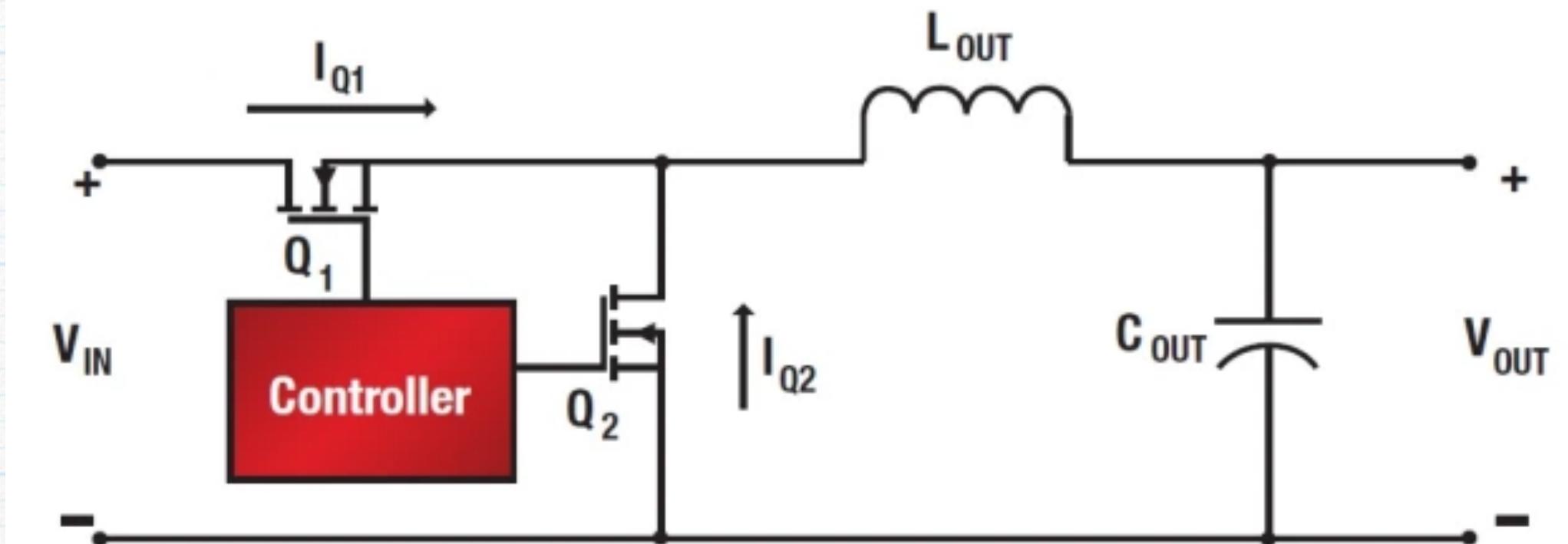
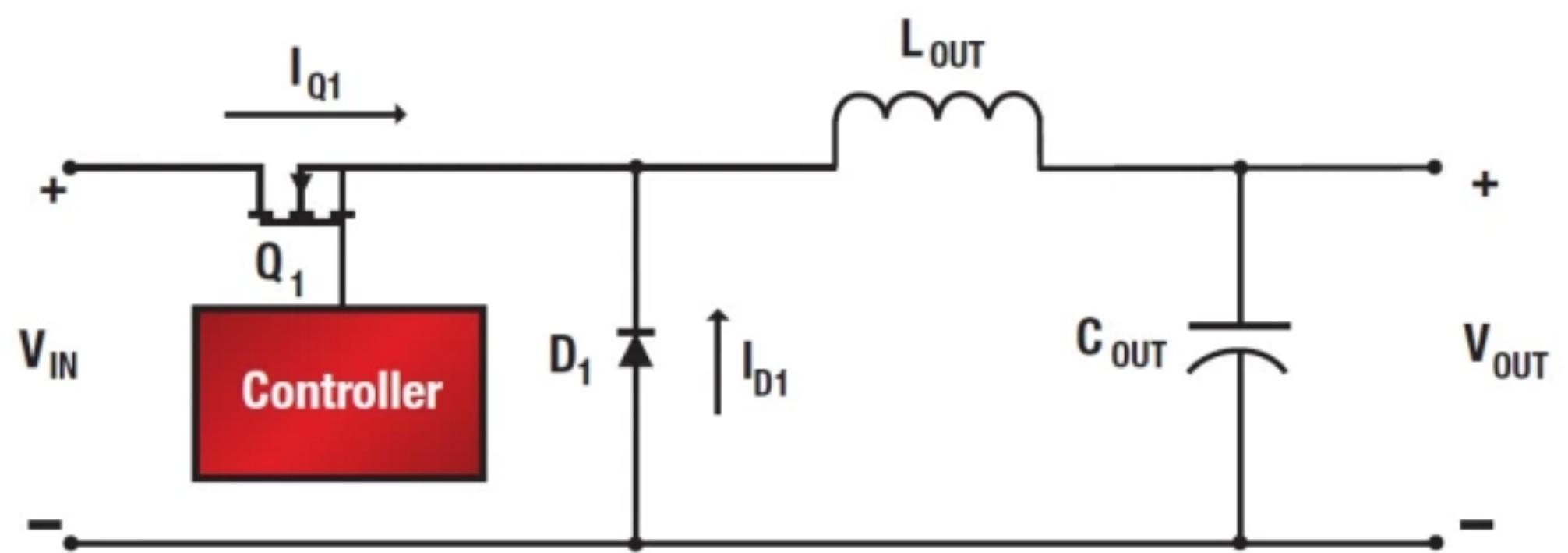
Ví dụ: Các thông số chính của một bộ nguồn ATX



## Ví dụ: Khoảng giá trị đầu ra cho phép của một bộ nguồn ATX

Đường điện	Khoảng chênh lệch	Tối thiểu	Tối đa
1. +5VDC	$\pm 5\%$	+4.75V	+5.25V
2. +12VDC	$\pm 5\%$	+11.40V	+12.60V
3. -5VDC	$\pm 10\%$	-4.5V	-5.5V
4. -12VDC	$\pm 10\%$	-10.8V	-13.2V
5. +3.3VDC	$\pm 5\%$	+3.14V	+3.47V
6. +5V SB	$\pm 5\%$	+4.75V	+5.25V

# **Thiết kế khối điều khiển PWM**



# Nhiệm vụ của khối điều khiển

Điện áp đầu ra của bộ nguồn có rất nhiều yếu tố tác động làm cho giá trị bị thay đổi (sự không ổn định của đầu vào, sự thay đổi dòng tải, nhiễu ...).

Để giữ cho điện áp đầu ra thay đổi trong khoảng dung sai cho phép (ví dụ: quanh giá trị danh định) người ta sử dụng **phương pháp hồi tiếp âm** để điều chỉnh lại đầu vào.

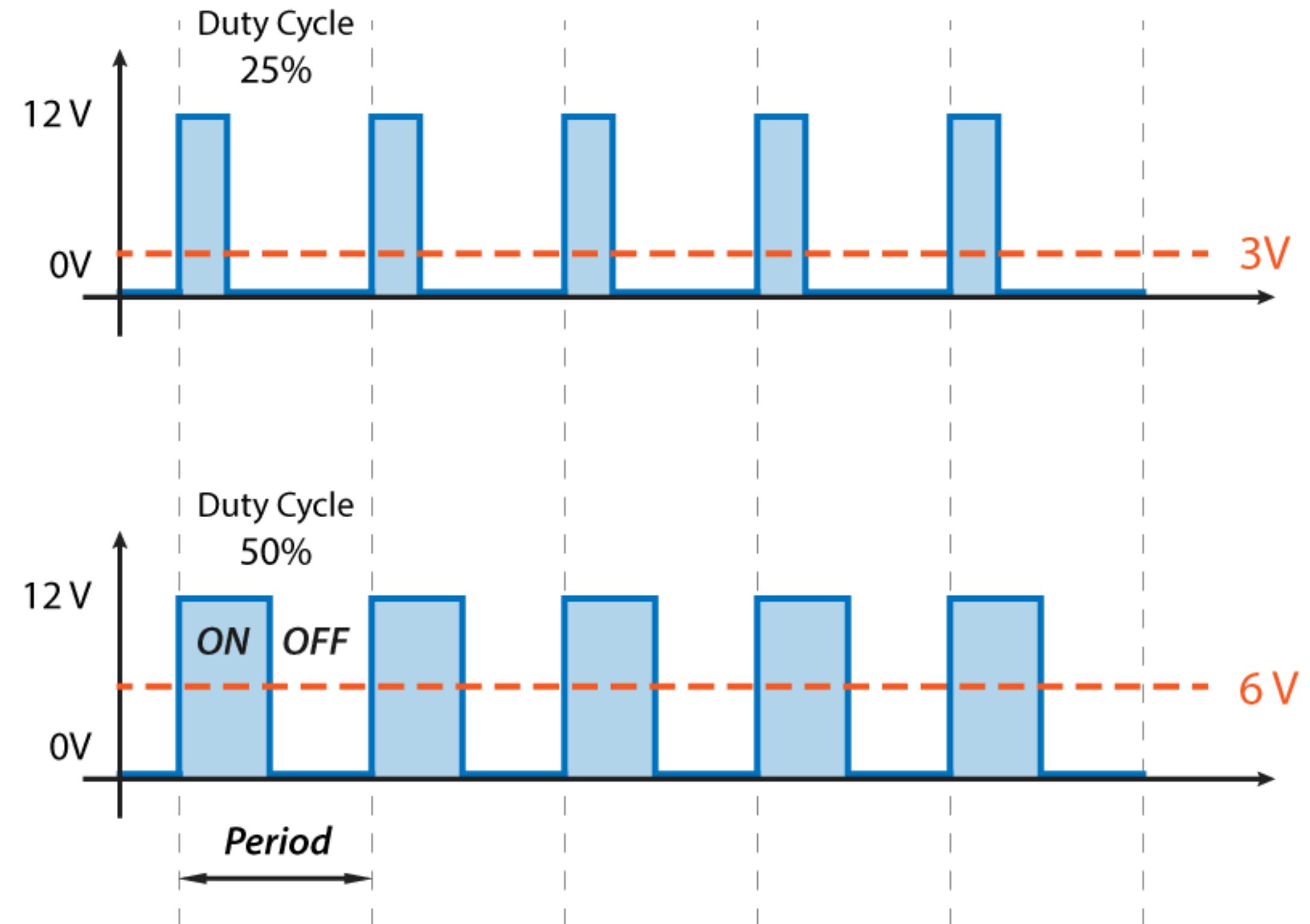
Vì điện áp đầu ra tỉ lệ với điện áp đầu vào theo hàm của hệ số dẫn  $D = T_{on}/T$  nên thông số cần điều chỉnh chính là  $T_{on}$ .

Việc điều chỉnh  $T_{on}$  có thể thực hiện theo hai cách:

- Giữ nguyên chu kỳ T và thay đổi giá trị của  $T_{on}$ .**
- Giữ nguyên  $T_{off}$  và thay đổi chu kỳ T để thay đổi giá trị của  $T_{on}$ .**

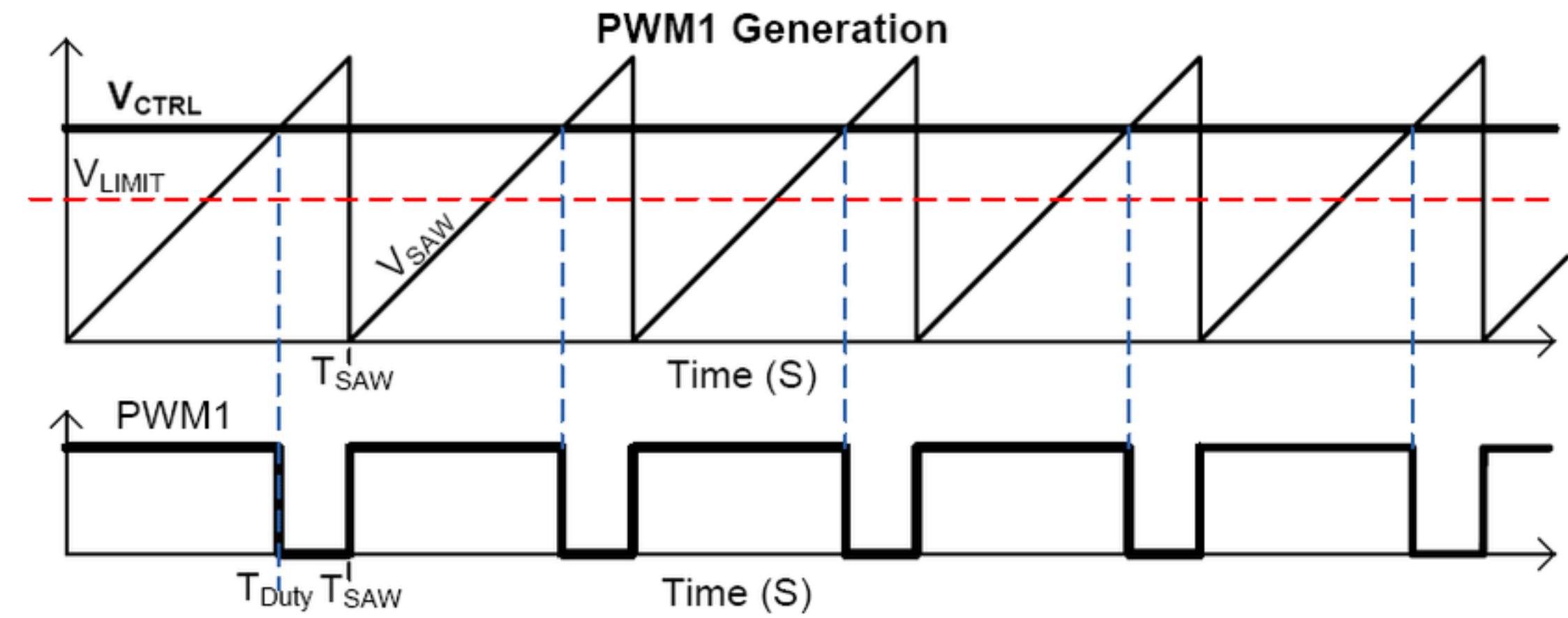
Phương pháp được sử dụng nhiều nhất và hiệu quả nhất là **phương pháp điều chế độ rộng xung** (PWM – Pulse Width Modulation) để điều khiển cực gốc của các transistor trong khối công suất.

# Nguyên tắc điều chế độ rộng xung



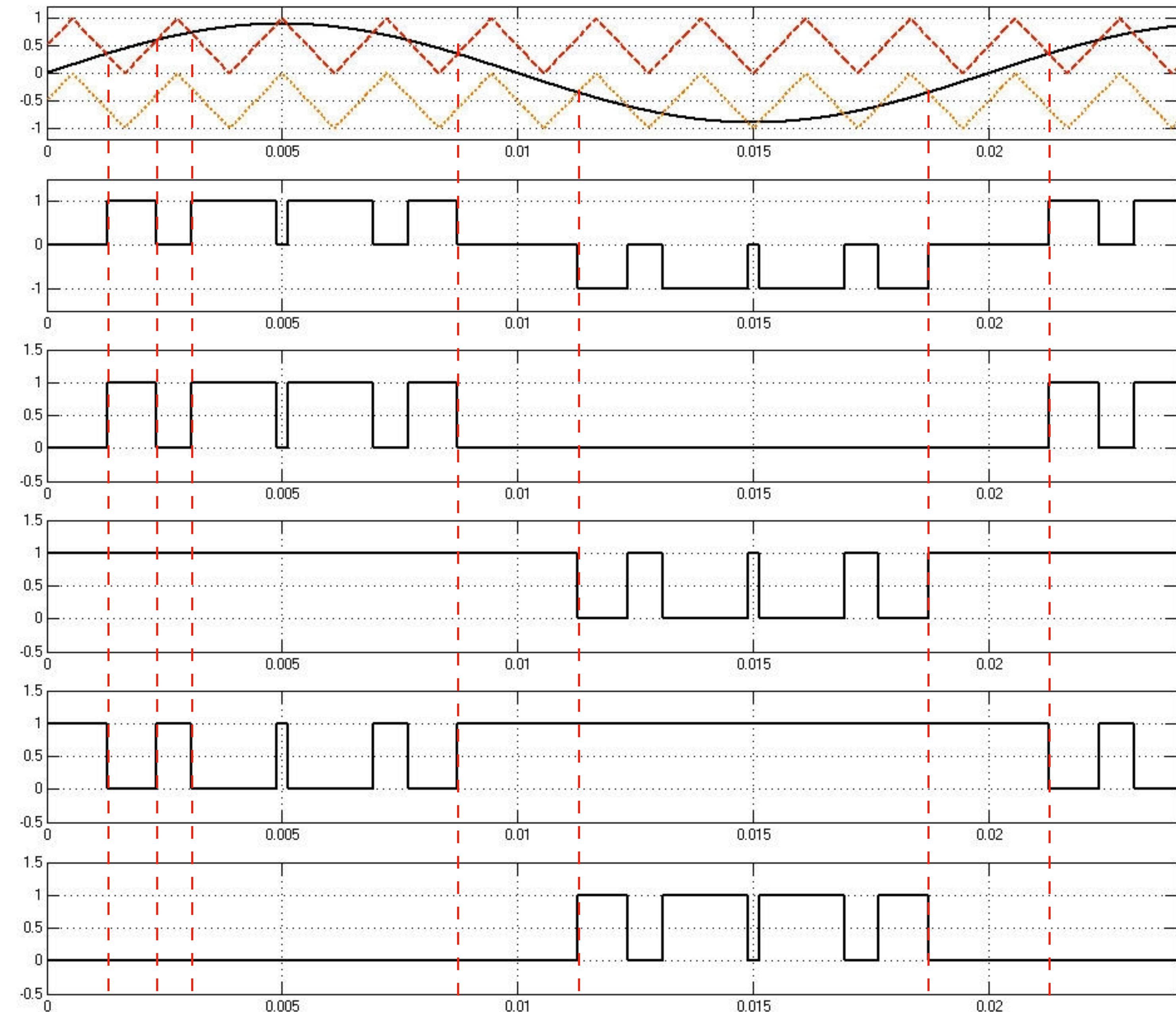
Hệ số dẫn  $D=Ton/T$  càng lớn thì thành phần trung bình sẽ càng lớn.

Thay đổi  $D$  để điều chỉnh giá trị trung bình



Khi dãy xung tam giác cố định, điện áp điều khiển sẽ được so sánh với điện áp của sườn lên để tạo ra dãy xung có độ rộng xung khác nhau.

# Nguyên tắc điều chế độ rộng xung

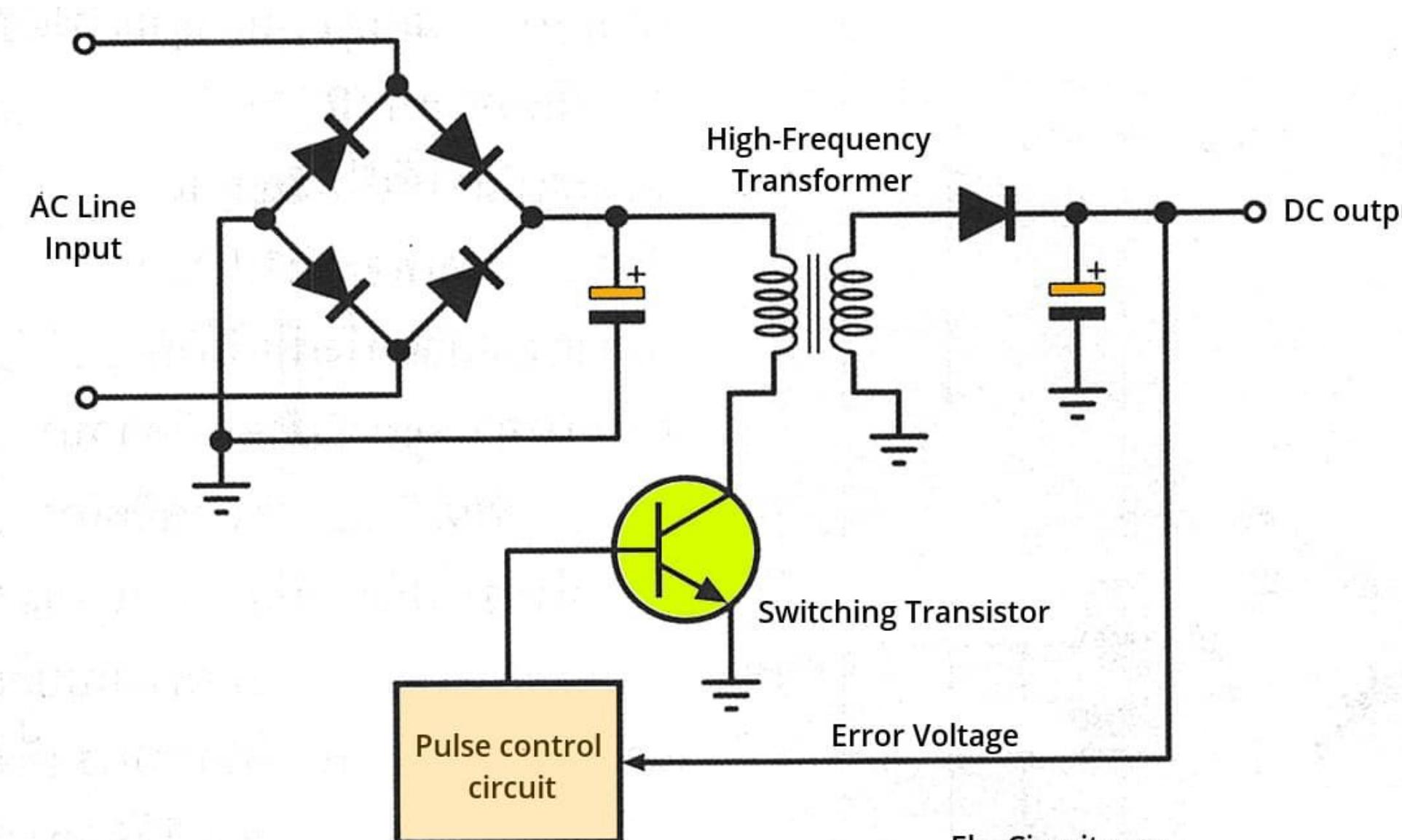


Tín hiệu sóng mang có dạng xung tam giác  
được đưa vào một đầu vào của bộ điều chế.

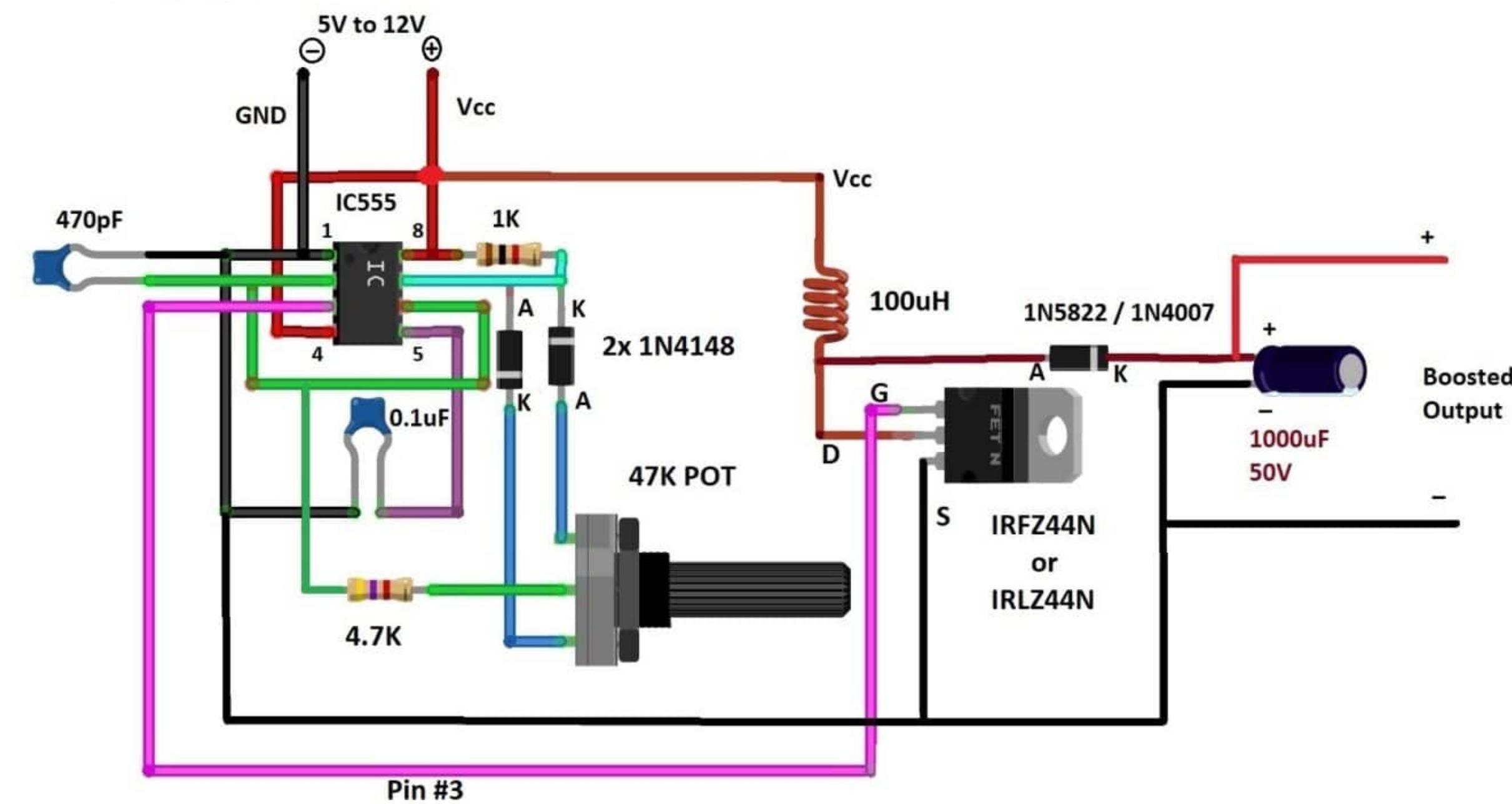
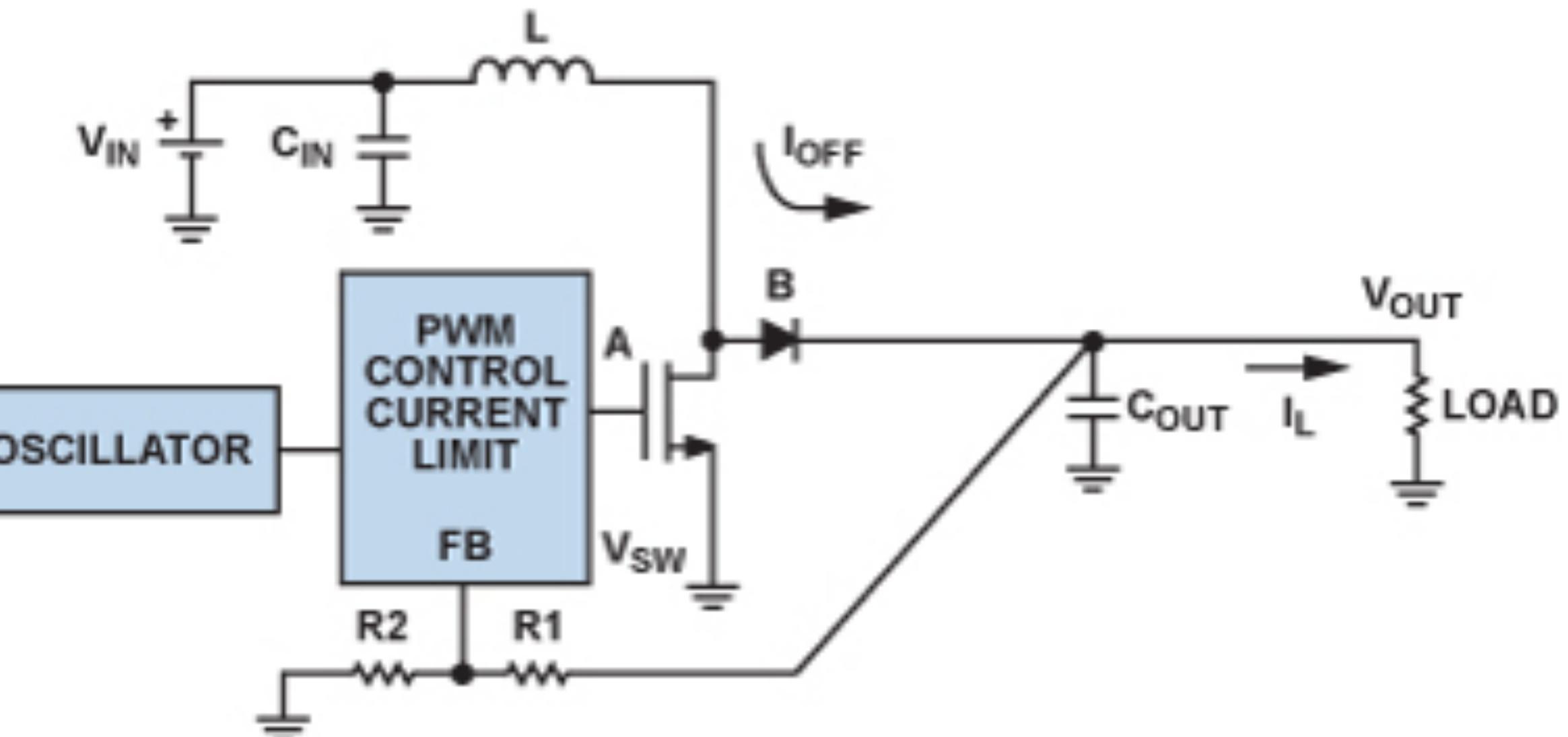
Bộ điều chế sẽ so sánh 2 biên độ của sóng  
mang và tín hiệu cần điều chế, dạng sóng ra  
của bộ điều chế là dạng xung có tần số là tần  
số của sóng mang nhưng có độ rộng xung  
biến đổi theo tín hiệu điều chế.

Độ rộng xung chính là khoảng thời gian mà  
điện áp tín hiệu nhỏ hơn điện áp sóng mang.

# Một số ví dụ về mạch điều khiển PWM



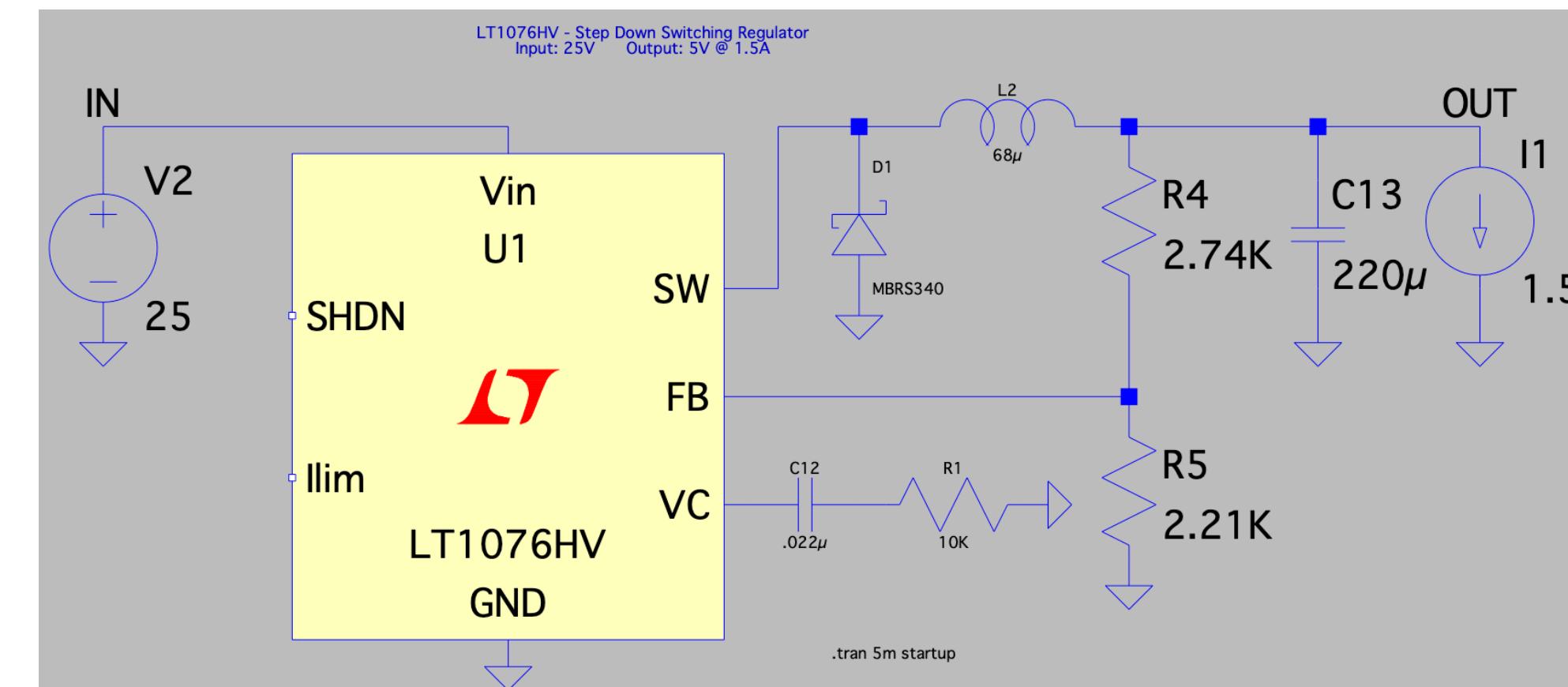
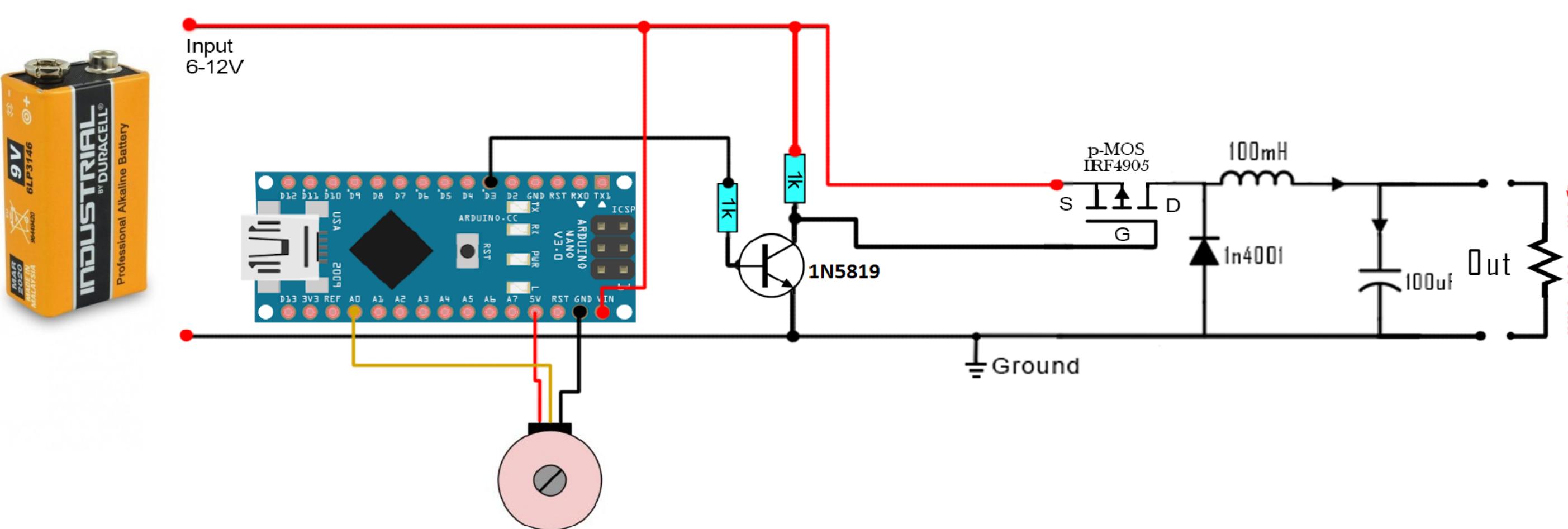
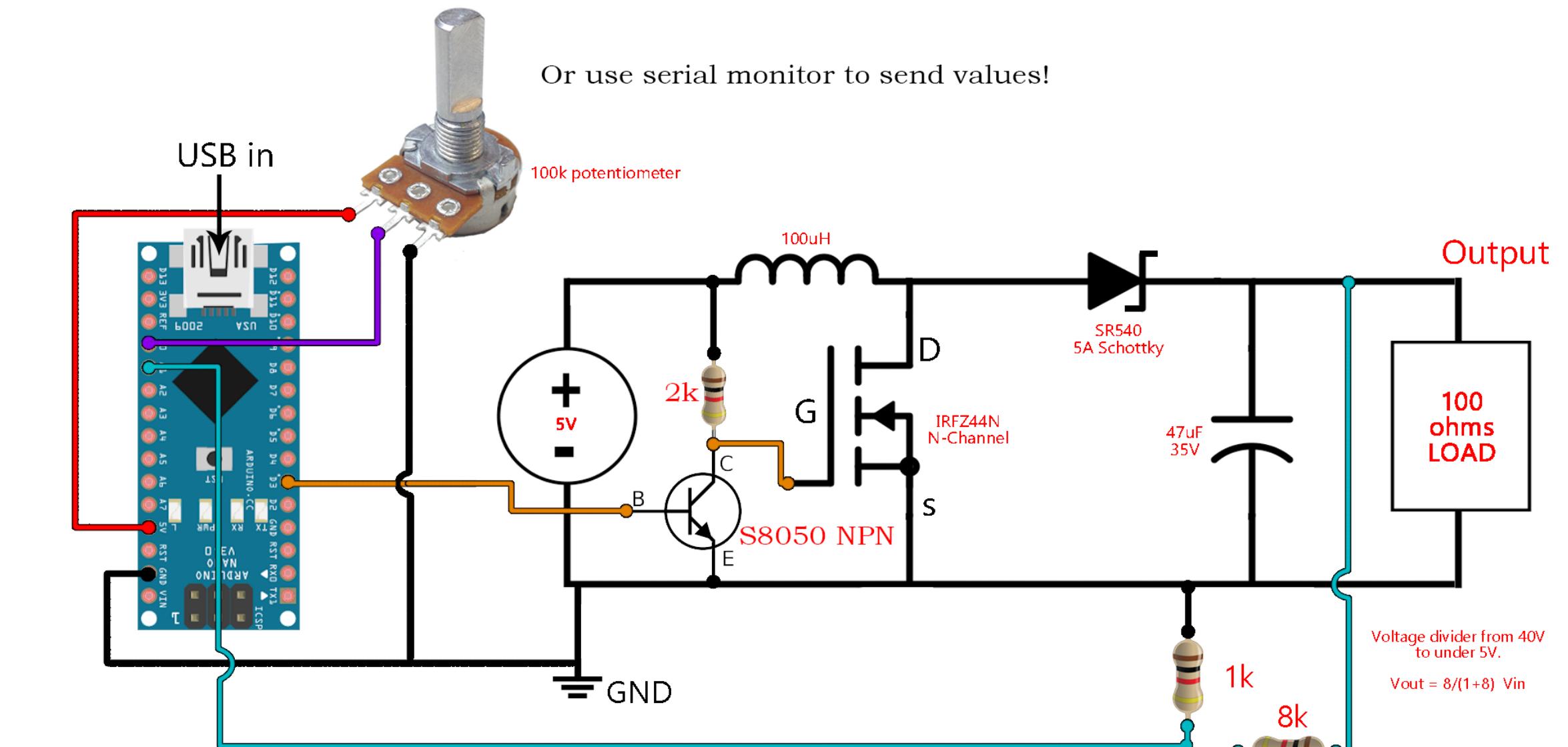
ElecCircuit.com



Pin #3

# Một số ví dụ về mạch điều khiển PWM

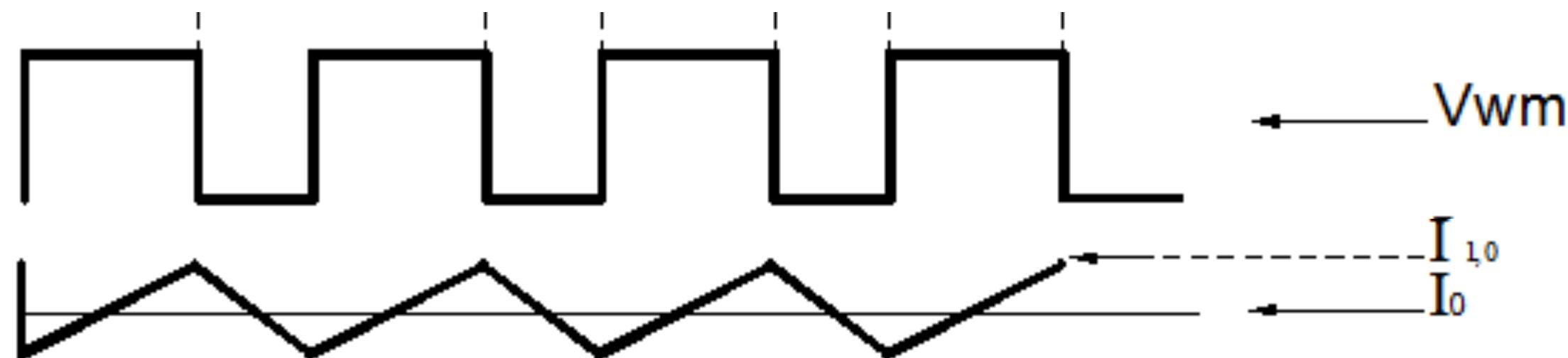
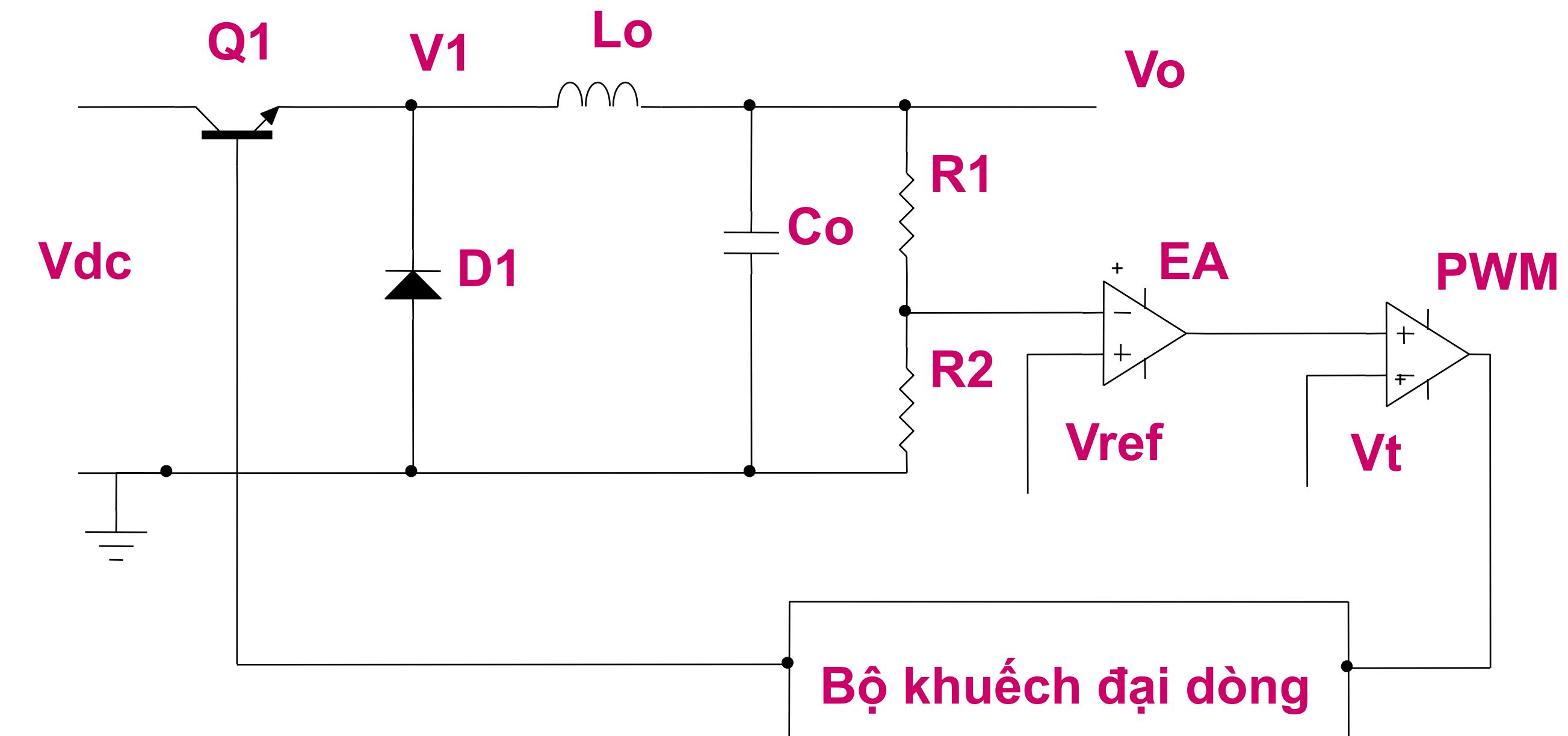
Có thể thiết kế khối điều khiển theo kiểu mạch ròi hay dùng IC định thời nhưng trên thực tế người ta ưa dùng IC PWM để tiết kiệm về thời gian và kinh phí trong khi thu gọn mạch hiệu quả.



# Thiết kế một số mạch nguồn chuyển mạch cơ bản

# Thiết kế bộ chuyển mạch BUCK điều khiển PWM

## Sơ đồ mạch và dạng sóng của mạch BUCK cơ bản



$$V_o = V_i \times D = V_i \times \frac{T_{on}}{T}$$

## Tính toán thông số của mạch BUCK

Tần số chuyển mạch thường từ 25 KHz đến 500 KHz

**Chọn transistor công suất có điện áp chịu đựng lớn nhất khi ngắt ở điện áp ngõ vào cao (thường lấy thêm hệ số an toàn)**

1. Hiệu suất của mạch:

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + P_{Q(dc)} + P_{Q(ac)}}$$

2. Giá trị độ tự cảm L của cuộn dây:

$$L = \frac{5(V_i - V_o)V_o T}{V_i I_o}$$

- $V_i$  là điện áp danh định một chiều đầu vào
- $I_o$  là dòng danh định đầu ra
- $V_r$  là điện áp đỉnh – đỉnh gợn đầu ra
- $K$  là hệ số có giá trị từ  $(50 - 80).10^{-6}$

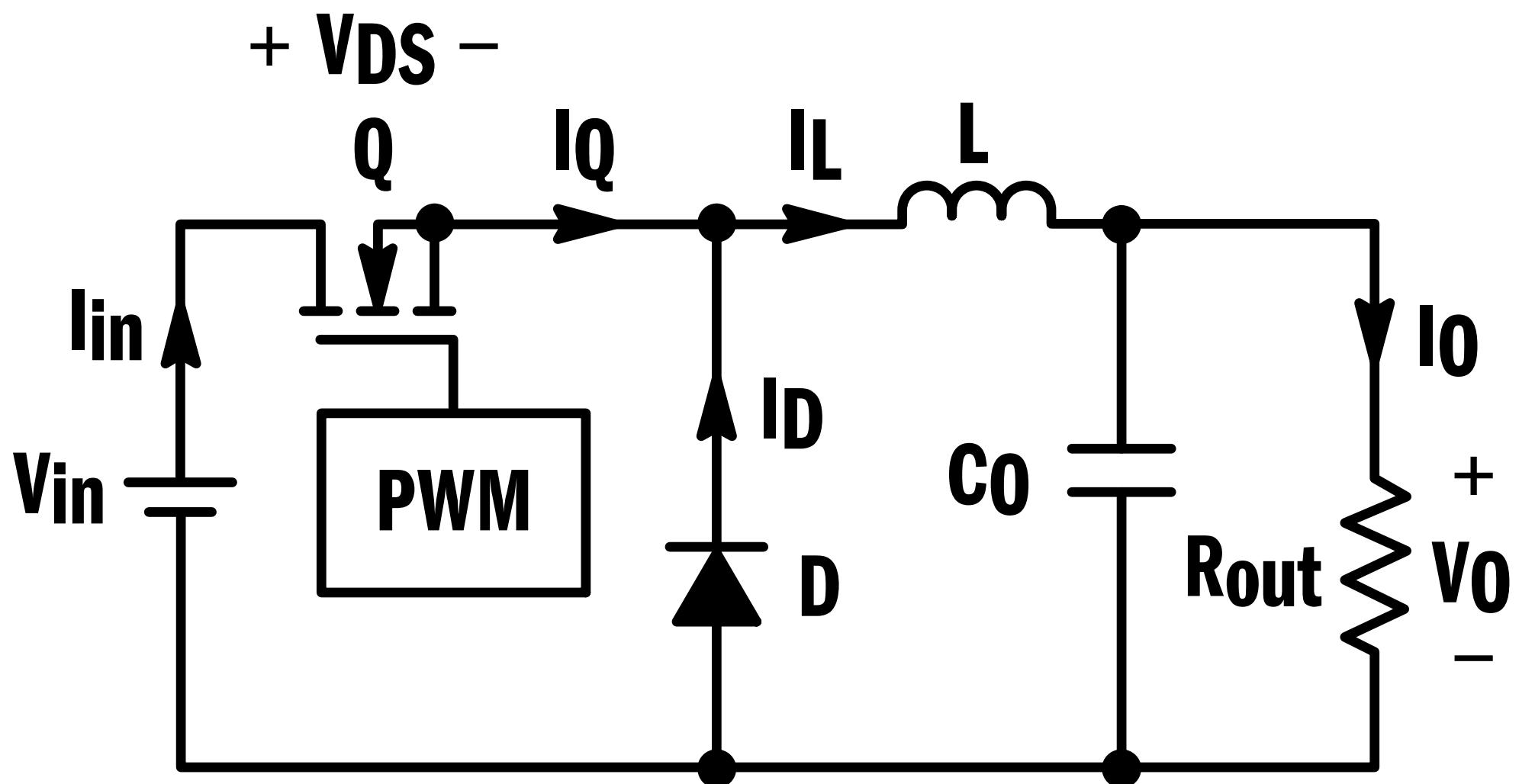
3. Giá trị của tụ lọc C:

$$C = K \times \frac{0.2I_o}{V_r}$$

## Ví dụ 1

Hãy lựa chọn linh kiện để thực hiện mạch BUCK hoạt động ở chế độ dẫn liên tục có yêu cầu như sau:

- + Điện áp DC đầu vào 50 V
- + Điện áp DC đầu ra 30 V
- + Công suất trên tải 3 W
- + Độ gợn của dòng đầu ra 30% dòng tải
- + Tần số đóng/ngắt 25 KHz
- + Hệ số dẫn 0,6

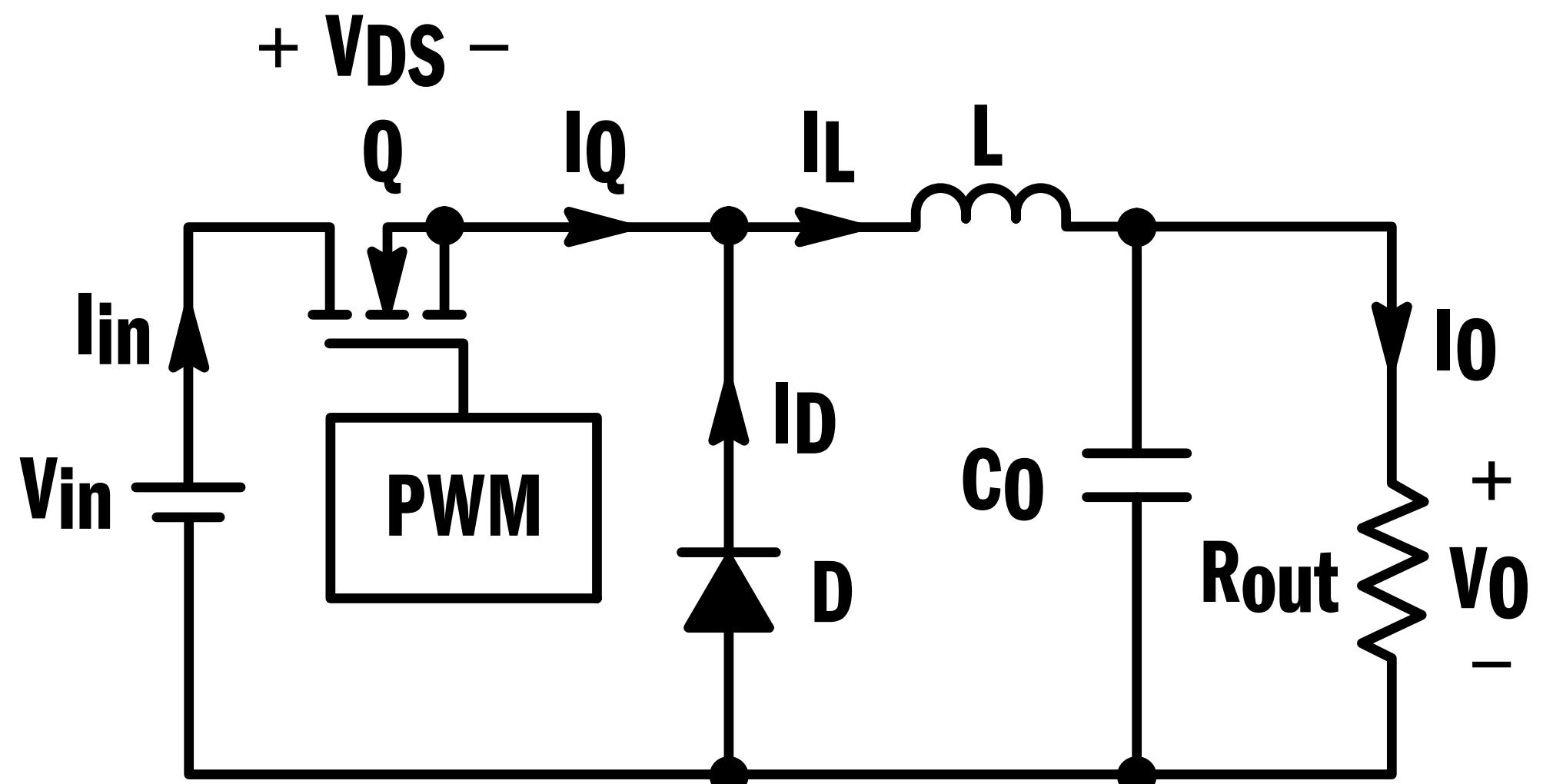


Tính hiệu suất của mạch

## Ví dụ 2

Thiết kế một mạch BUCK dạng PWM hoạt động ở chế độ liên tục đáp ứng được yêu cầu sau:

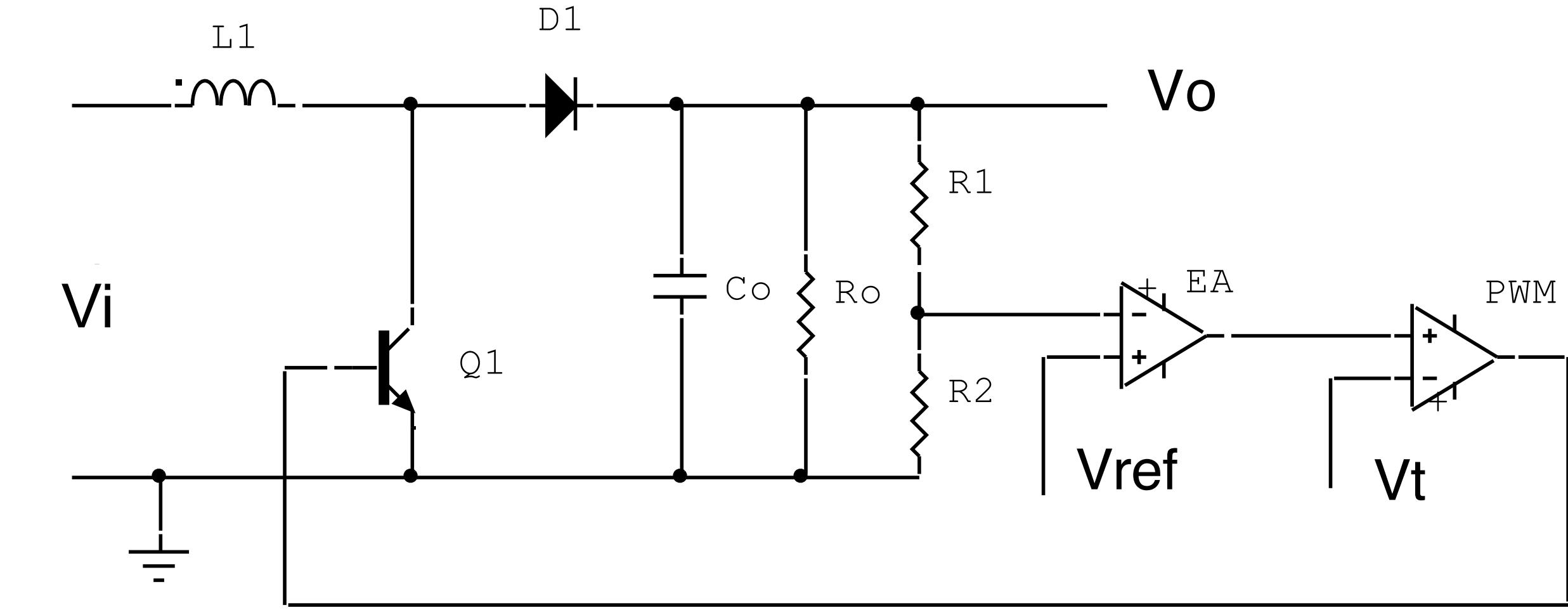
- + Điện áp vào:  $V_I = 28 \pm 4V$ ,
- + Điện áp ra:  $V_O = 12V$ ,
- + Điện áp gợn đầu ra nhỏ hơn 1% so với điện áp ra
- + Dòng điện ra nhỏ nhất và lớn nhất:  $I_{Omin} = 1A$ ,  $I_{Omax} = 10A$ ,
- + Tần số chuyển mạch  $f_S = 100kHz$



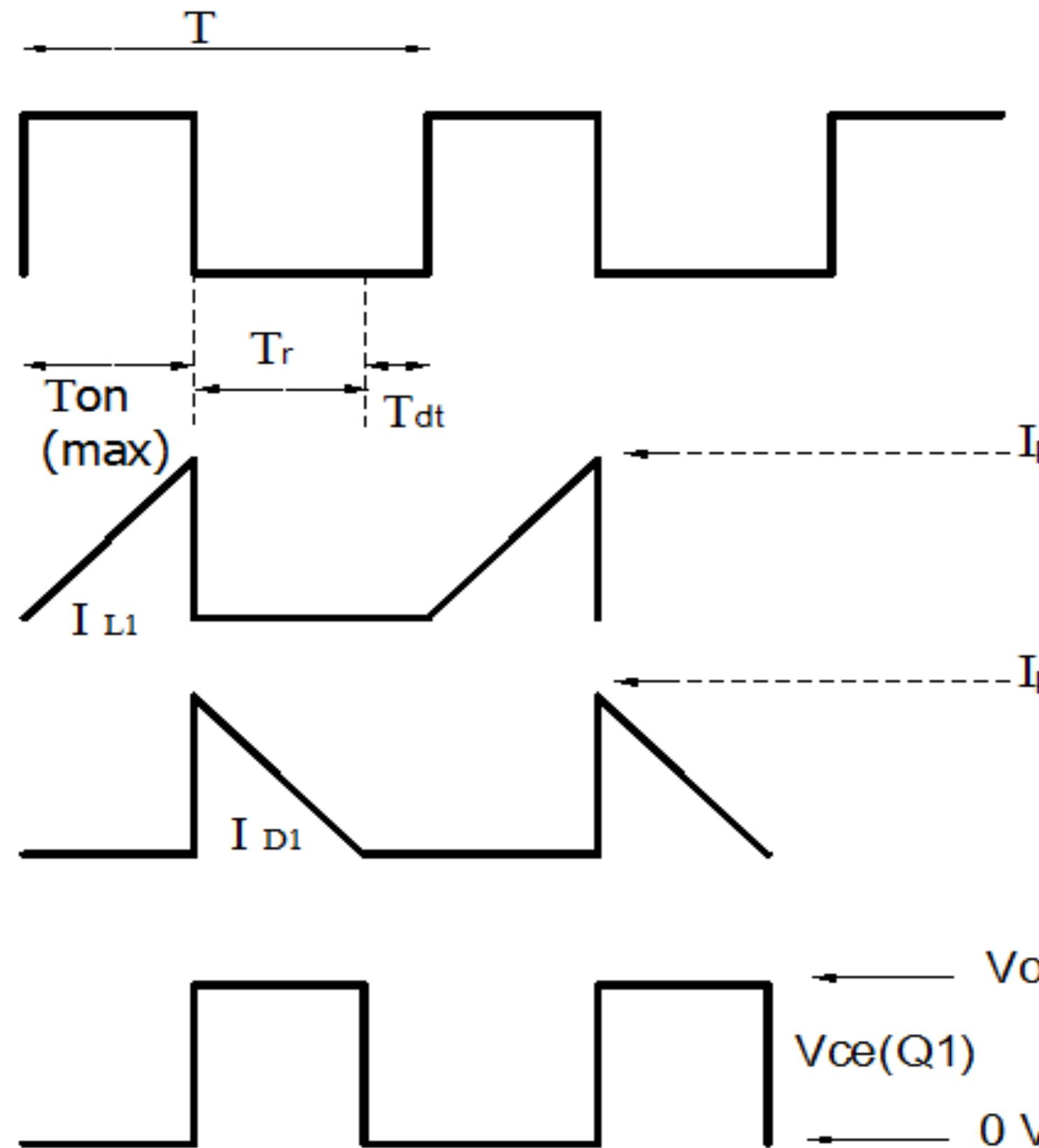
# Thiết kế bộ chuyển mạch BOOST điều khiển PWM

## Sơ đồ mạch và dạng sóng

$$V_o = V_i \times \frac{T}{T_{off}}$$

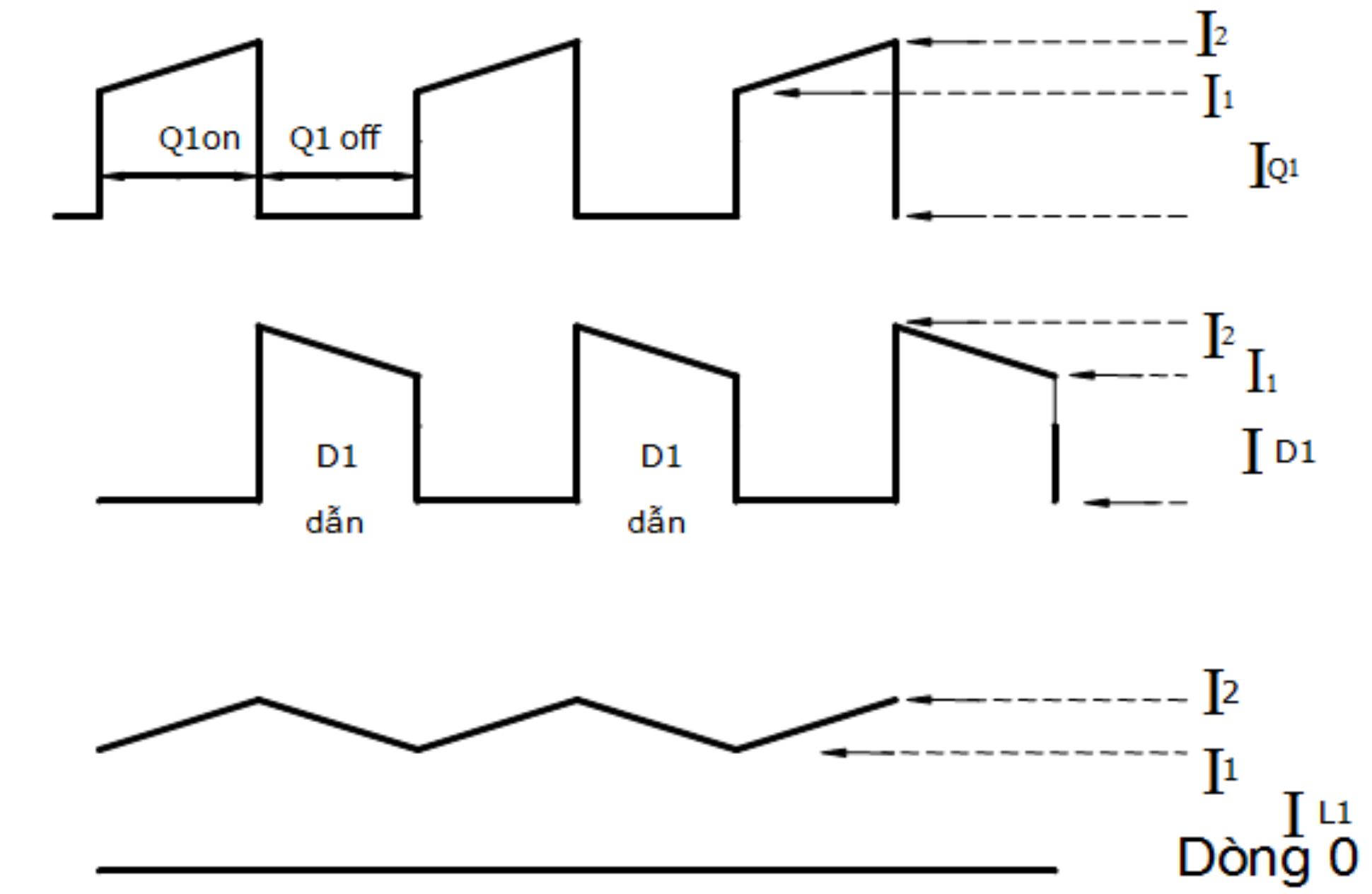


DCM



Mạch BOOST nên hoạt động ở chế độ không liên tục để tránh trạng thái tự dao động của mạch khuếch đại vi sai

CCM



## Tính toán thông số của mạch BOOST

Vì  $T_{on(max)} + T_r + T_{dt} = T$

chọn:  $(T_{on}+T_r) = mT$  với  $0 < m < 1$ , thường lấy giá trị 0,8; suy ra:

$$T_{on(max)} = \frac{0.8T(V_o - V_{i(min)})}{V_o}$$

Chọn transistor chuyển mạch dựa vào dòng đỉnh cực đại

$$I_Q = \frac{V_i T_{on}}{L}$$

1. Hiệu suất của mạch:

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + P_{Q(dc)} + P_{Q(ac)}}$$

2. Giá trị độ tự cảm L của cuộn dây:

$$L = \left(\frac{V_i}{V_o}\right)^2 \times \frac{m T_{on} R_o}{2}$$

3. Giá trị của tụ lọc C:

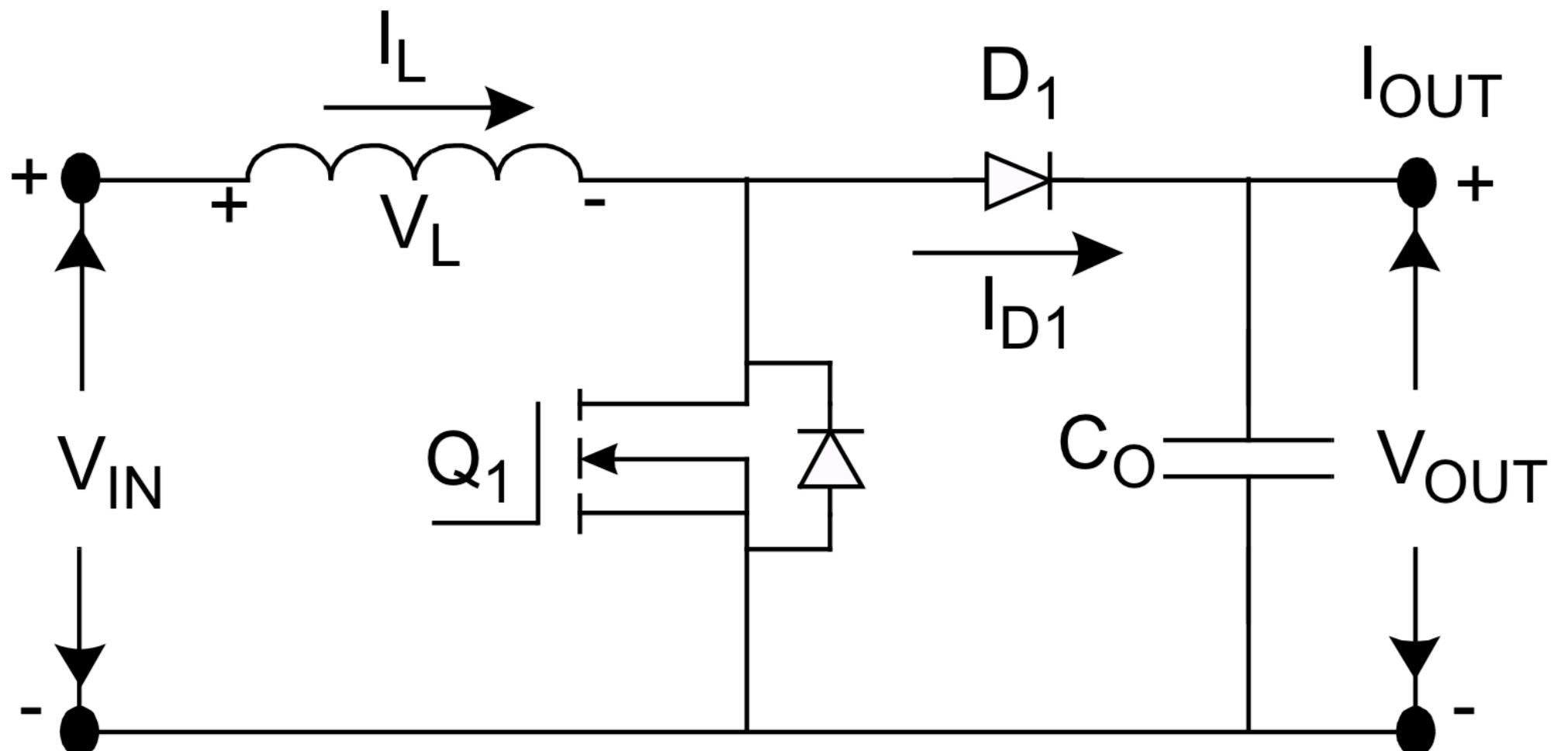
$$C_o = K \times \frac{0.2 I_o}{V_r}$$

- $V_i$  là điện áp danh định một chiều đầu vào
- $I_o$  là dòng danh định đầu ra
- $V_r$  là điện áp đỉnh – đỉnh gợn đầu ra
- $K$  là hệ số có giá trị từ  $(50 - 80).10^{-6}$

### Ví dụ 3

Thiết kế bộ BOOST PWM đáp ứng được các yêu cầu sau:

- +  $V_i$  là điện áp lưới một pha
- +  $V_o = 400 \text{ V}$ ;
- +  $I_{o(\max)} = 0,225 \text{ A}$ ;  $I_{o(\min)} = 5\% I_{o(\max)}$
- +  $V_r/V_o < 1\%$



## **MÔ PHỎNG MẠCH NGUỒN SMPS**

- + Dùng phần mềm thiết kế mạch thông dụng như Orcad, Protel, Hspice ...
- + Dùng phần mềm do các hãng sản xuất IC cung cấp

# Mô phỏng một số mạch

+ Dùng linh kiện và phần mềm do Linear Technology cung cấp

**Yêu cầu của bộ nguồn:**

**Điện áp vào:** dùng nguồn pin có  $V_i(\min) = 6V$  và  $V_i(\max) = 9V$ , giá trị danh định là 7.5V

**Ngõ ra:** 1. Ngõ ra 3.3V, 2A

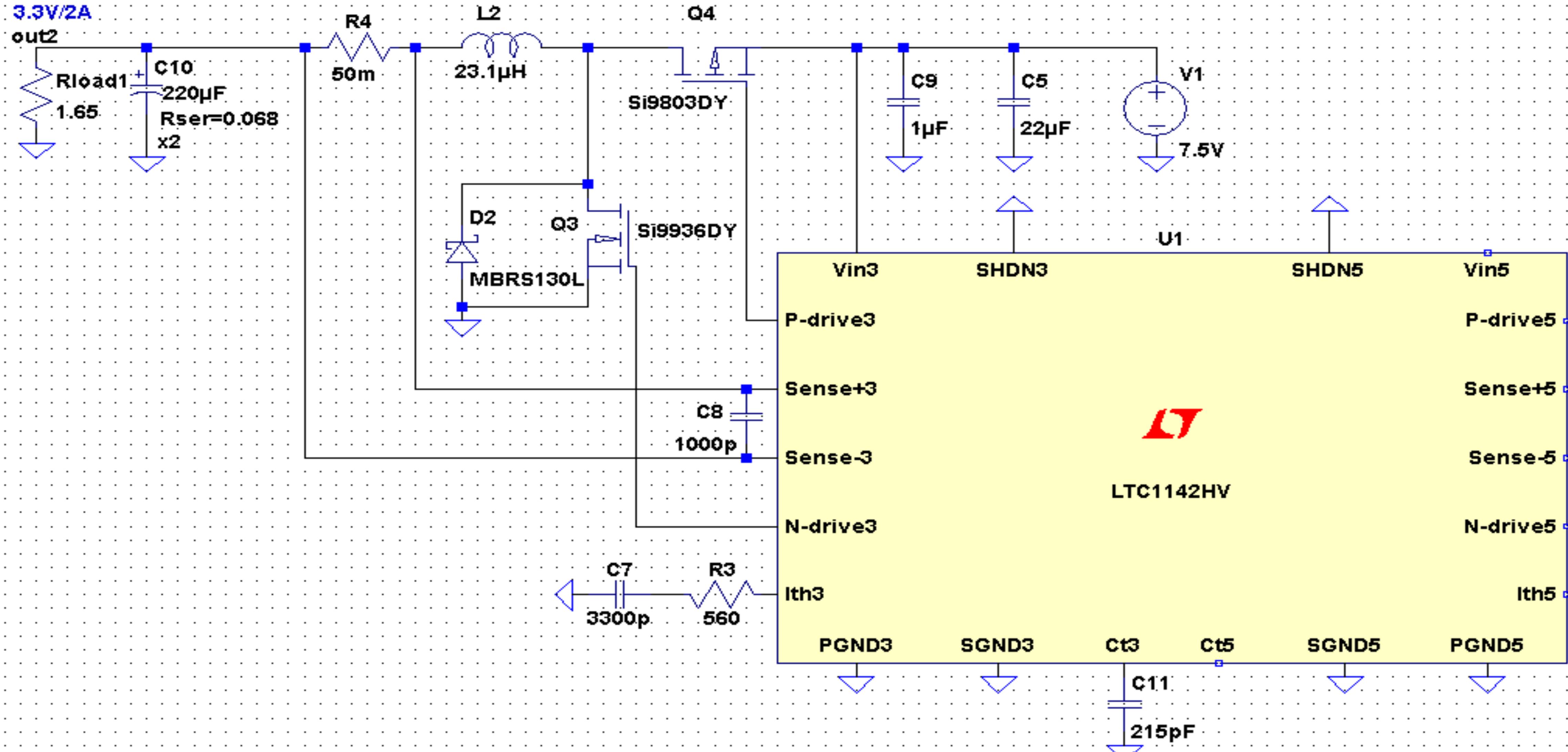
2. Ngõ ra 12V, 150mA

**Hiệu suất:** > 90%

Lựa chọn IC điều khiển loại LTC1142HV cho ngõ ra 1 và LTC 1070 cho ngõ ra 2.

# Mô phỏng mạch BUCK, đầu ra 3,3V/2A (1)

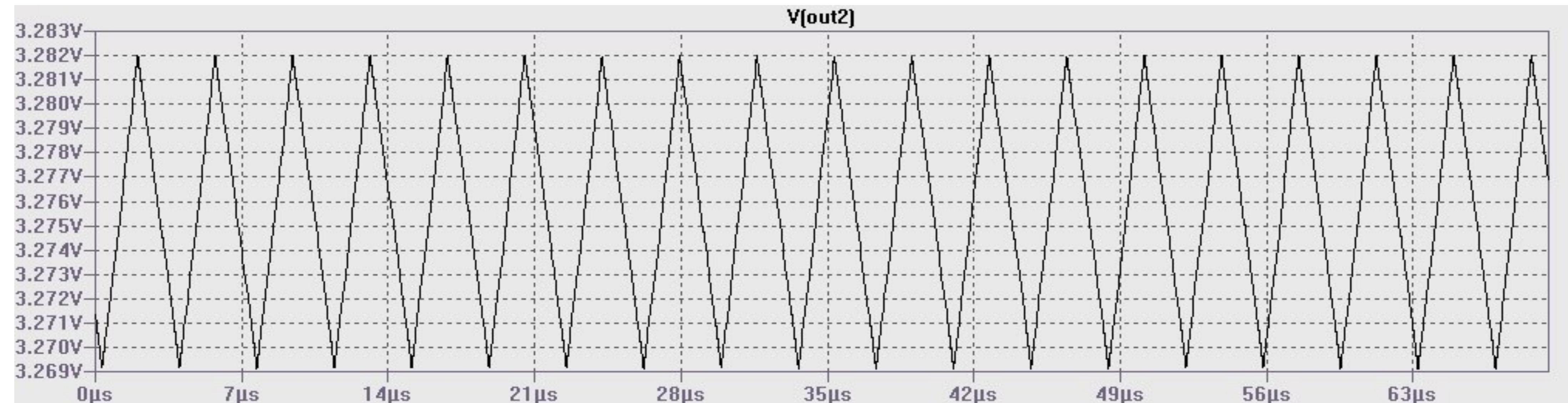
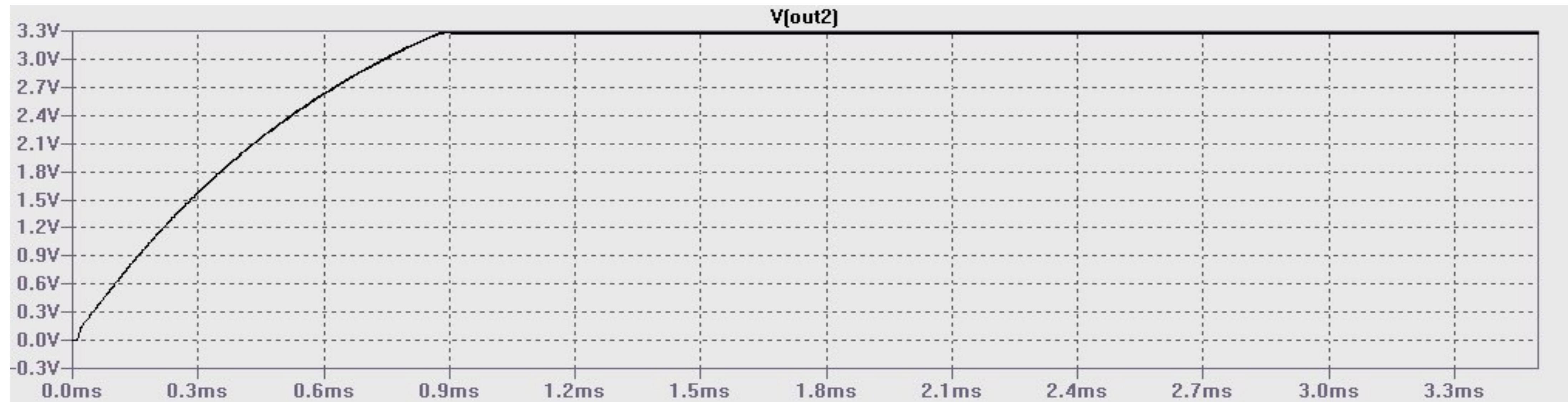
+ Sơ đồ mạch



tran 3.5m steady startup

## Mô phỏng mạch BUCK, đầu ra 3,3V/2A (2)

+ Dạng điện áp đầu ra



## Mô phỏng mạch BUCK, đầu ra 3,3V/2A (3)

+ Thống kê kết quả mô phỏng trên các linh kiện và hiệu suất của mạch

**Input: 6.99W @ 7.5V**

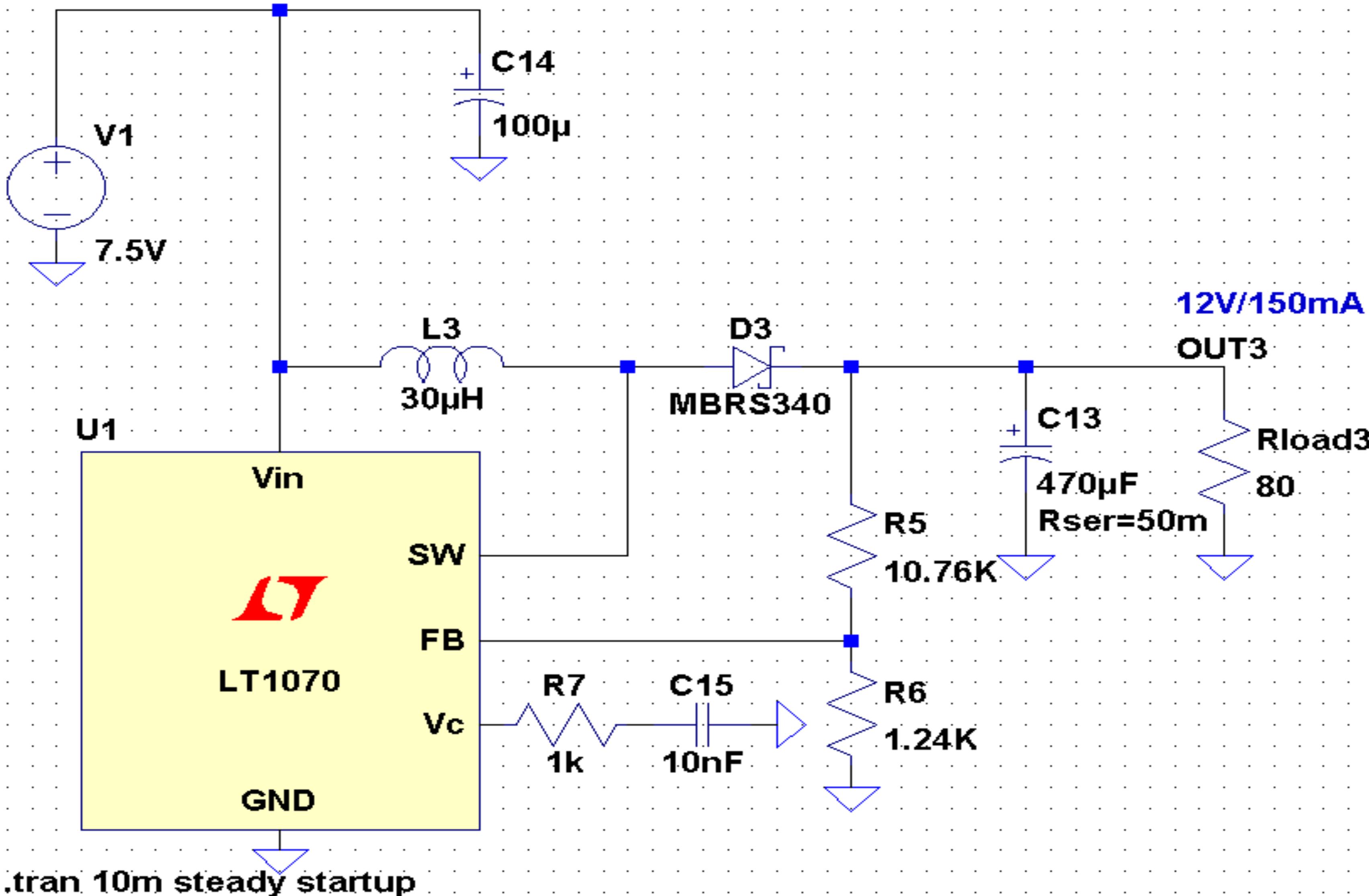
**Output: 0W @ 0V**

Ref.	Irms	Ipeak	Dissipation
C5	0mA	0mA	0mW
C7	0mA	0mA	0mW
C8	0mA	0mA	0mW
C9	0mA	0mA	0mW
C10	109mA	190mA	0mW
C11	0mA	4mA	0mW
D2	593mA	2171mA	68mW
L2	1990mA	2179mA	4mW
Q3	1313mA	2211mA	56mW
Q4	1373mA	3281mA	111mW
R3	0mA	0mA	0μW
R4	1990mA	2179mA	198mW
Rload1	1985mA	1989mA	6503mW
U1	86mA	1197mA	51mW

$$n = \frac{P_{Rload1}}{P_{in}} = \frac{6.503W}{6.99W} \cdot 100\% \\ = 93.03\%$$

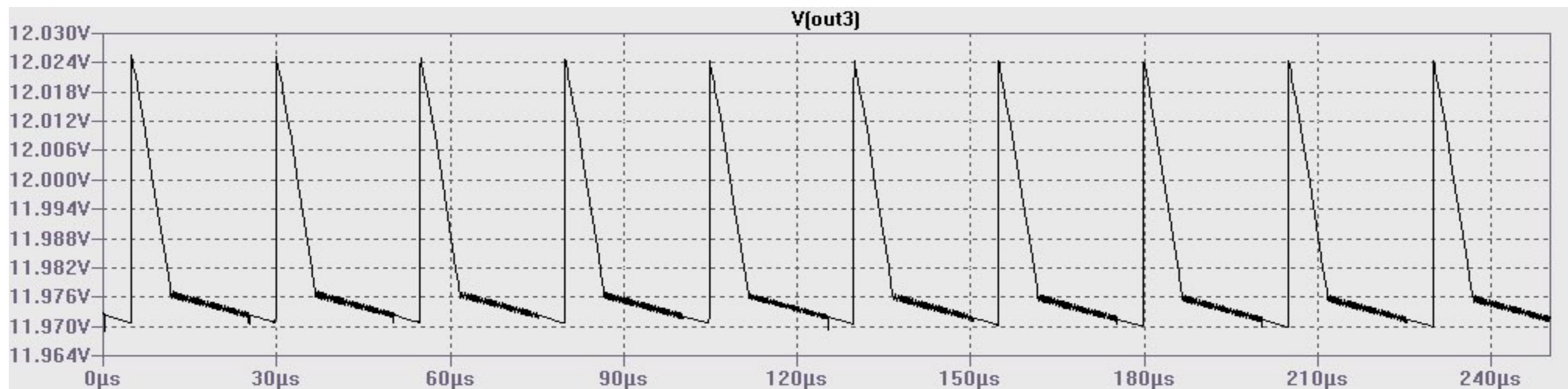
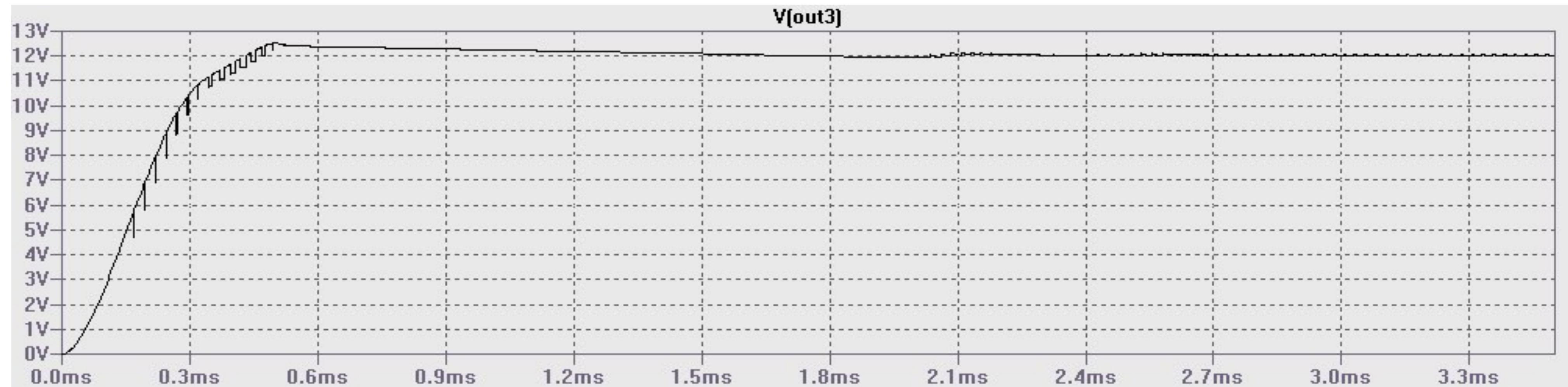
# Mô phỏng mạch BOOST, đầu ra 12V/150mA (1)

+ Sơ đồ mạch



## Mô phỏng mạch BOOST, đầu ra 12V/150mA (2)

+ Dạng điện áp đầu ra



## Mô phỏng mạch BOOST, đầu ra 12V/150mA (3)

+ Thống kê kết quả mô phỏng trên các linh kiện và hiệu suất của mạch

**Input: 1.97W @ 7.5V**

**Output: 0W @ 0V**

Ref.	Irms	Ipeak	Dissipation
C13	294mA	957mA	4mW
C14	0mA	0mA	0mW
C15	0mA	0mA	0mW
D3	330mA	1109mA	48mW
L3	431mA	1124mA	0mW
R5	1mA	1mA	11mW
R6	1mA	1mA	1mW
R7	0mA	0mA	0μW
Rload3	151mA	151mA	1812mW
U1	280mA	1126mA	93mW

$$n = \frac{P_{Rload3}}{P_{in}} = \frac{1.812W}{1.97W} \cdot 100\% = 92\%$$

+ Dùng linh kiện và phần mềm do Linear Technology cung cấp

**Yêu cầu của bộ nguồn:**

**Điện áp vào:** dùng nguồn pin có  $V_i(\min) = 6V$  và  $V_i(\max) = 9V$ , giá trị danh định là 7.5V

**Ngõ ra:** 1. Ngõ ra 5V, 2A

2. Ngõ ra 3.3V, 2A

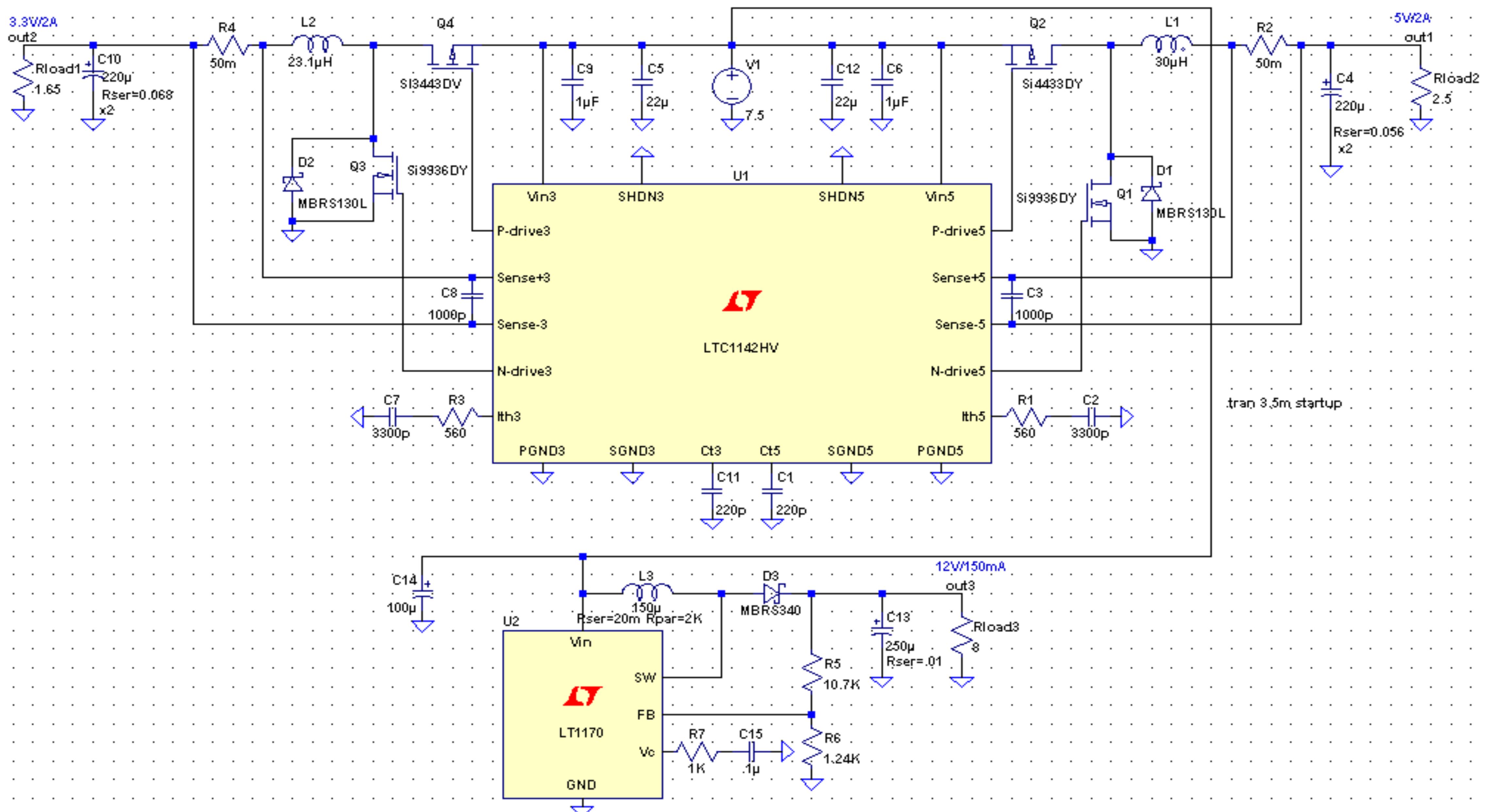
3. Ngõ ra 12V, 150mA

**Hiệu suất:** > 90%

Lựa chọn IC điều khiển loại LTC1142HV cho ngõ ra 1 và LTC 1070 cho ngõ ra 2.

# Mô phỏng mạch nguồn 3 đầu ra cho Notebook

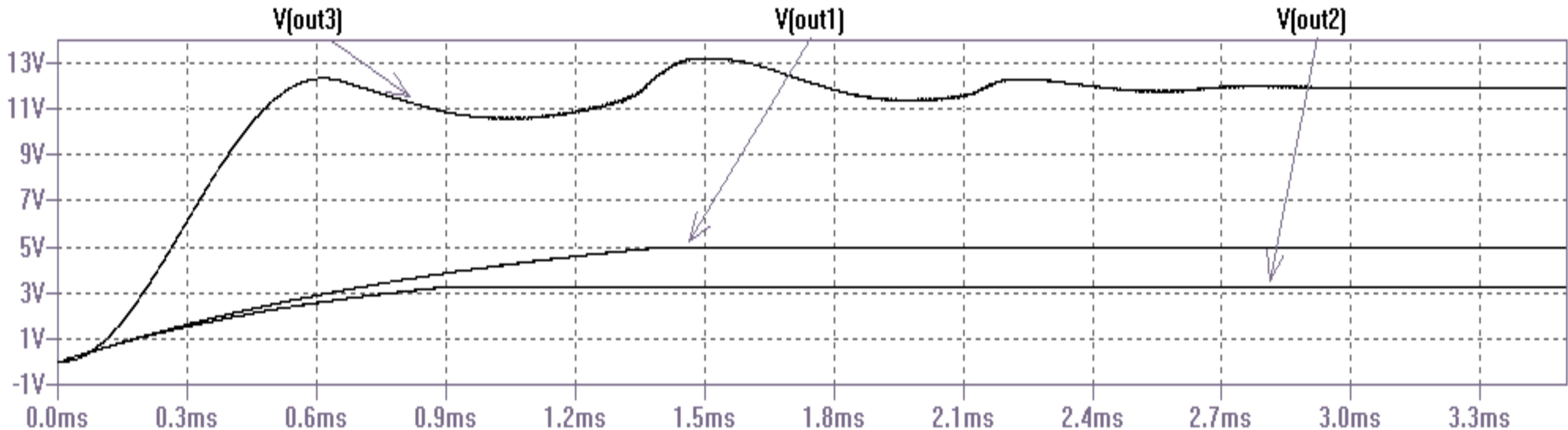
Sơ đồ mạch



## Bảng thông kê linh kiện và thông số mô phỏng

--- Bill of Materials ---				Input: 36.5W @ 7.5V Output: 0W @ 0V			
Ref.	Mfg.	Part No.	Description	Ref.	Irms	Ipeak	Dissipation
C1	--	--	capacitor, 220pF	C1	0mA	8mA	0mW
C2	--	--	capacitor, 3.3nF	C2	0mA	0mA	0mW
C3	--	--	capacitor, 1nF	C3	0mA	0mA	0mW
C4	--	--	capacitor, 220pF	C4	158mA	273mA	1mW
C5	--	--	capacitor, 22μF	C5	0mA	0mA	0mW
C6	--	--	capacitor, 1μF	C6	0mA	0mA	0mW
C7	--	--	capacitor, 3.3nF	C7	0mA	0mA	0mW
C8	--	--	capacitor, 1nF	C8	0mA	0mA	0mW
C9	--	--	capacitor, 1μF	C9	0mA	0mA	0mW
C10	--	--	capacitor, 220pF	C10	134mA	236mA	1mW
C11	--	--	capacitor, 220pF	C11	0mA	8mA	0mW
C12	--	--	capacitor, 22μF	C12	0mA	0mA	0mW
C13	--	--	capacitor, 250pF	C13	1289mA	1838mA	17mW
C14	--	--	capacitor, 100pF	C14	0mA	0mA	0mW
C15	--	--	capacitor, 100nF	C15	0mA	0mA	0mW
D1	--	MBRS130L	diode	D1	362mA	2254mA	26mW
D2	--	MBRS130L	diode	D2	463mA	2220mA	41mW
D3	--	MBRS340	diode	D3	1791mA	2640mA	551mW
L1	--	--	inductor, 30μH	L1	1967mA	2258mA	4mW
L2	--	--	inductor, 23.1μH	L2	1985mA	2224mA	4mW
L3	--	--	inductor, 150μH	L3	2548mA	2648mA	148mW
Q1	--	Si9936DY	MOSFET	Q1	966mA	2251mA	29mW
Q2	--	Si4433DY	MOSFET	Q2	1676mA	4441mA	240mW
Q3	--	Si9936DY	MOSFET	Q3	1399mA	2248mA	61mW
Q4	--	SI3443DV	MOSFET	Q4	1330mA	3697mA	96mW
R1	--	--	resistor, 560	R1	0mA	0mA	0μW
R2	--	--	resistor, 50m	R2	1967mA	2258mA	194mW
R3	--	--	resistor, 560	R3	0mA	0mA	0μW
R4	--	--	resistor, 50m	R4	1985mA	2224mA	197mW
R5	--	--	resistor, 10.7K	R5	1mA	1mA	11mW
R6	--	--	resistor, 1.24K	R6	1mA	1mA	1mW
R7	--	--	resistor, 1K	R7	0mA	0mA	0μW
Rload1	--	--	resistor, 1.65	Rload1	1985mA	1989mA	6499mW
Rload2	--	--	resistor, 2.5	Rload2	1984mA	1987mA	9839mW
Rload3	--	--	resistor, 8	Rload3	1491mA	1494mA	17787mW
U1	Linear Technology	LTC1142HV	integrated circuit	U1	42mA	942mA	51mW
U2	Linear Technology	LT1170	integrated circuit	U2	1817mA	2808mA	741mW

## Dạng điện áp của các đầu ra và hiệu suất của mạch



Từ bảng thống kê kết quả xác định được hiệu suất của mạch là:

$$n = \frac{P_{Rload_3} + P_{Rload_2} + P_{Rload_1}}{P_{in}} = \frac{6.499 + 9.839 + 17.787}{36.5} \cdot 100\% = 93.49\%$$



# Bài tập lớn

**Mô phỏng và làm mạch một mạch nguồn chuyển mạch  
PWM có ứng dụng cụ thể**

*Khuyến nghị sử dụng phần mềm mô phỏng của hãng cung cấp linh kiện*



Hết phần 3