

**Bài giảng**

# NGUỒN ĐIỆN

## **Chương 2: Các bộ biến đổi DC/DC**

**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

# Các mạch biến đổi DC/DC cơ bản

Bộ biến đổi DC/DC có nhiều dạng khác nhau, việc lựa chọn loại mạch nào chủ yếu dựa vào:

- + Điện áp vào/ra;
- + Điện áp chịu đựng lớn nhất của transistor công suất khi ngắt ở điện áp ngõ vào cao;
- + Dòng định chịu đựng lớn nhất ở công suất ngõ ra cực đại.

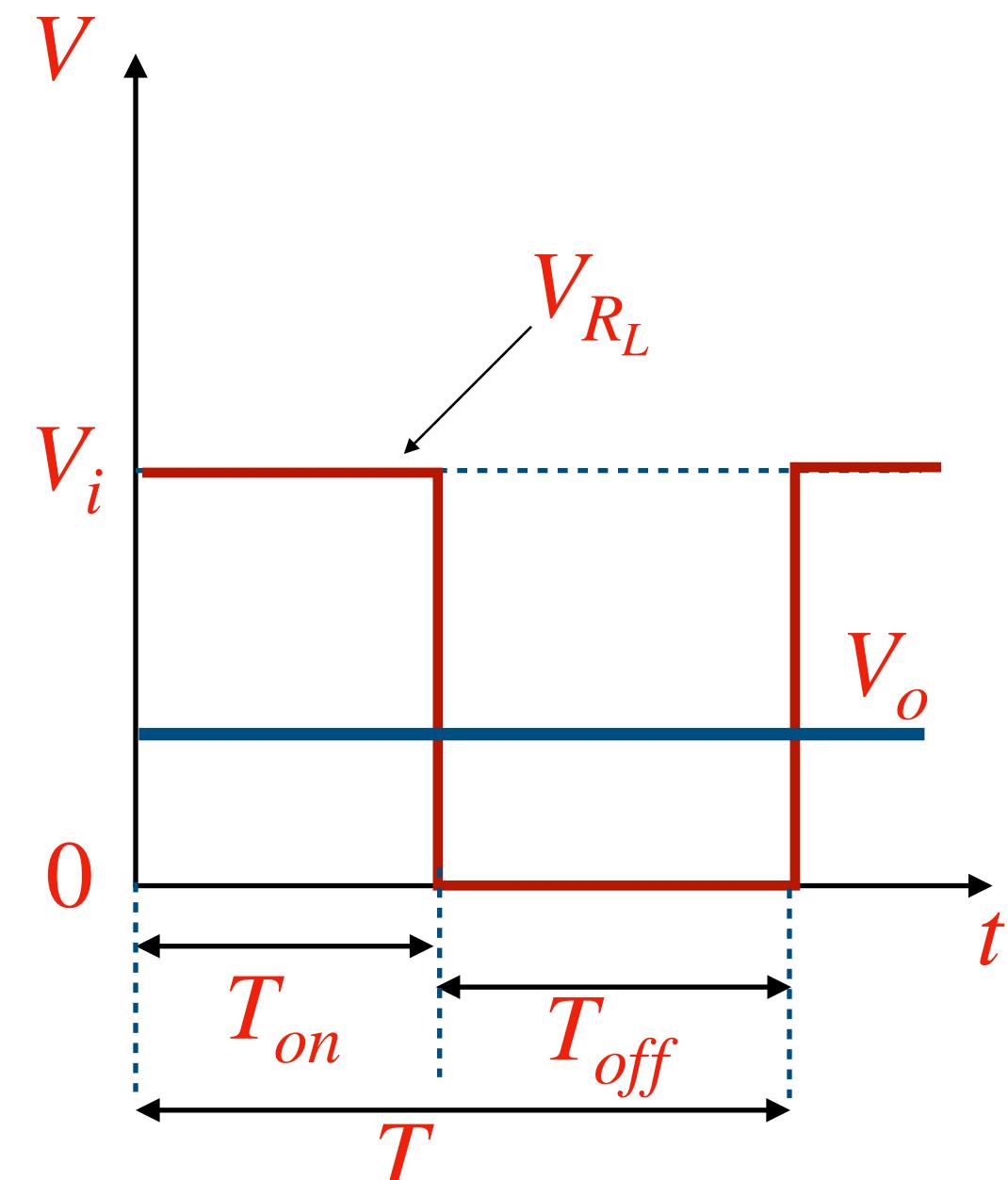
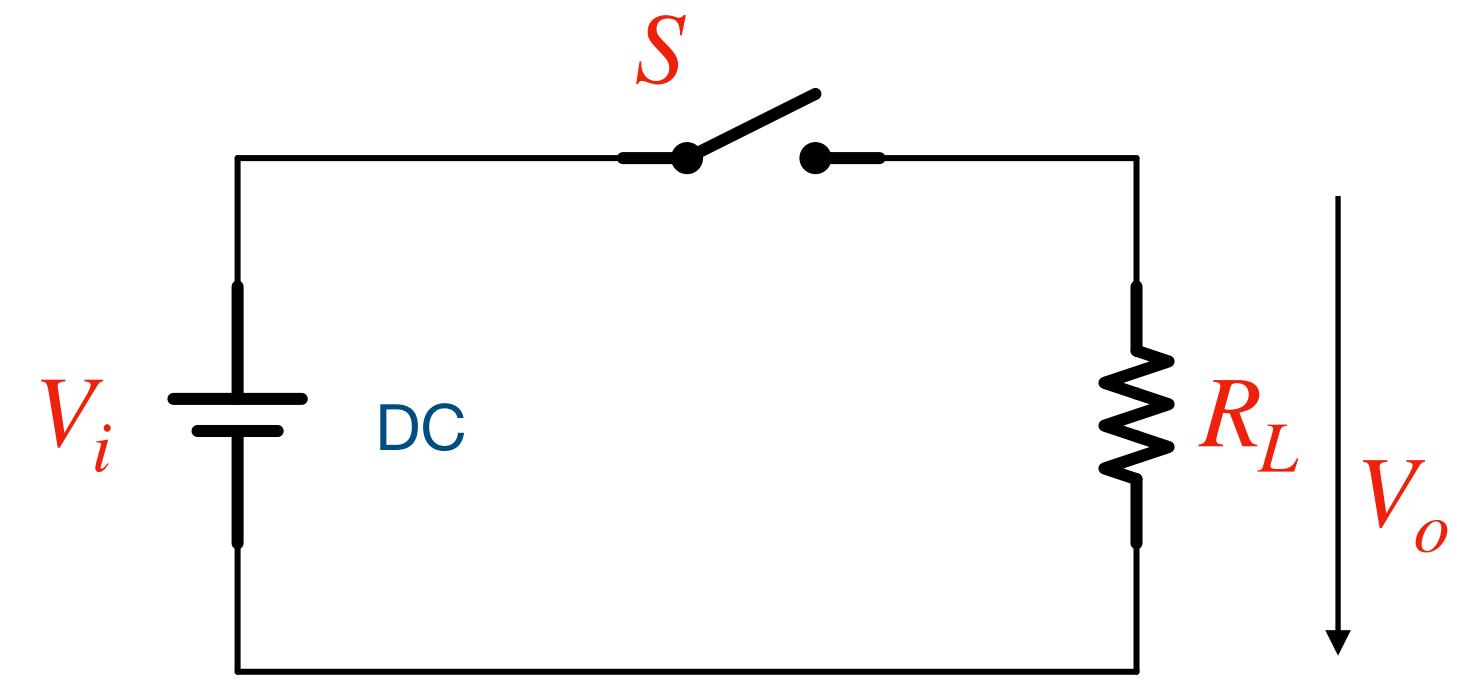
Bộ biến đổi DC/DC có rất nhiều dạng mạch nhưng đều dựa trên các dạng mạch cơ bản:

- Bộ biến đổi Buck
- Bộ biến đổi Boost
- Bộ biến đổi Buck-Boost

# Nguyên tắc biến đổi điện áp DC/DC

Dựa trên hoạt động của mạch ngắt quãng, điện áp một chiều không ổn định đầu vào sẽ bị **chuyển thành dãy xung** nhờ các chuyển mạch (thường là BJT, MOSFET hoặc IGBT).

Bằng việc **điều khiển độ rộng của dãy xung** ta sẽ lấy được điện áp ra có giá trị theo yêu cầu một cách ổn định.



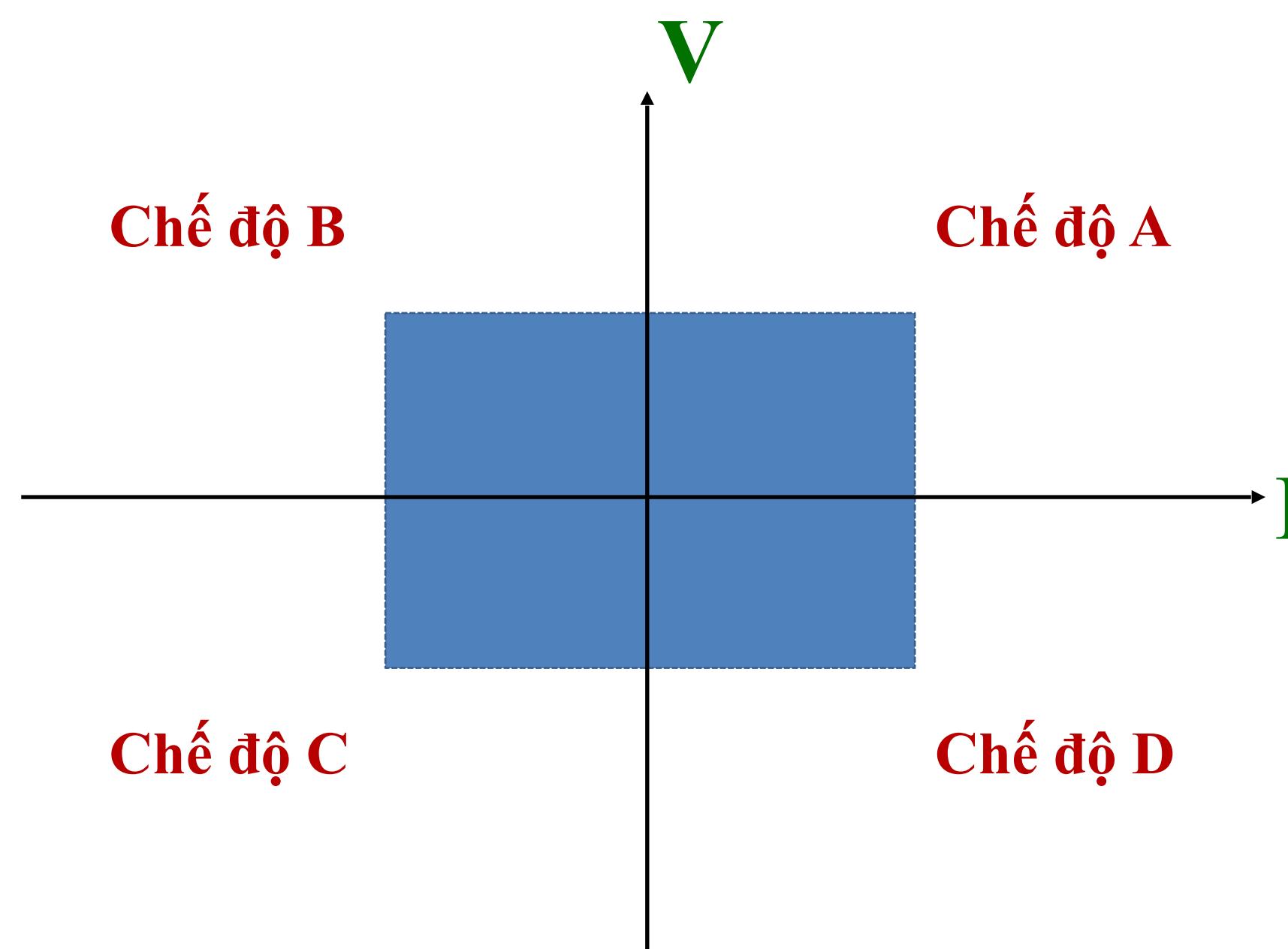
Điện áp trung bình trên tải  $R_L$  được tính bằng biểu thức:

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T V_p(t) dt = \frac{1}{T} \left( \int_0^{T_{on}} V_i dt + \int_{T_{on}}^T 0 dt \right) = \frac{T_{on}}{T} V_i = D \cdot V_i$$

$D$  được gọi là **hệ số dẫn** hay **tỉ số chu kỳ**,  $D = T_{on} / T$

Điều khiển giá trị của hệ số dẫn sẽ thay đổi được độ lớn của điện áp ra so với điện áp vào

Tùy vào chiều của dòng điện và điện áp trên mạch mà mạch ngắt quãng có 4 chế độ hoạt động khác nhau.



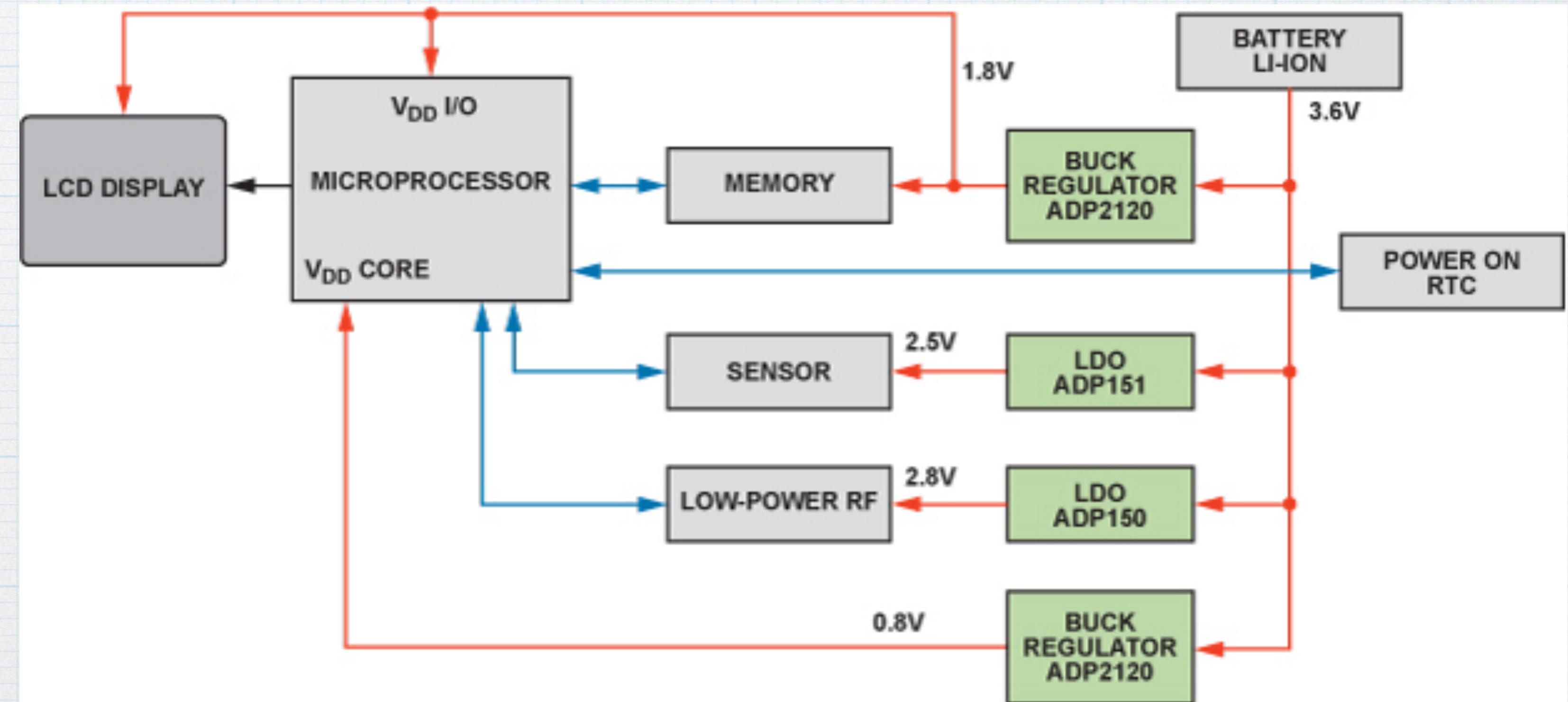
**Chế độ A:** Điện áp dương, dòng điện dương

**Chế độ B:** Điện áp dương, dòng điện âm

**Chế độ C:** Điện áp âm, dòng điện âm

**Chế độ D:** Điện áp âm, dòng điện dương

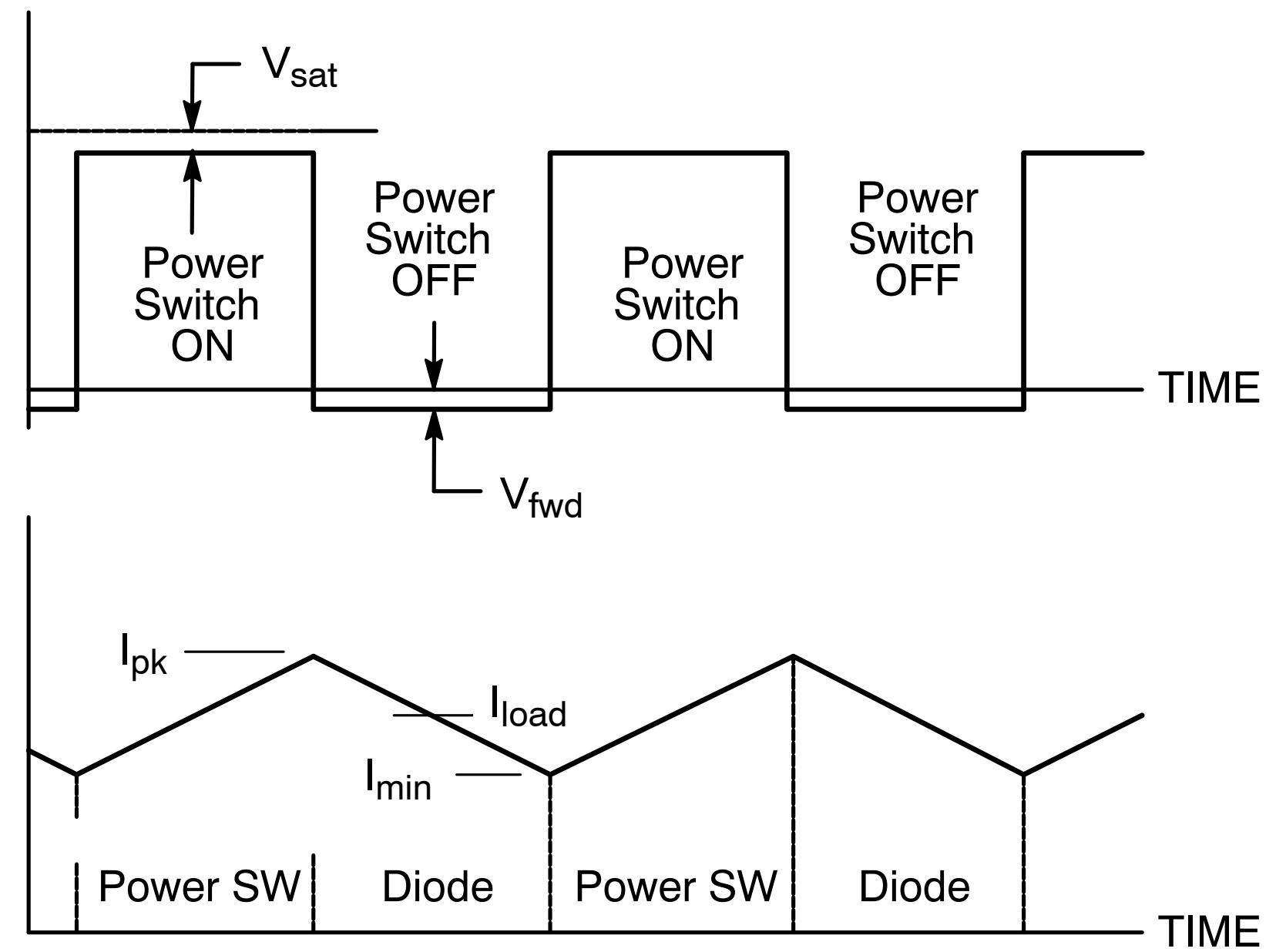
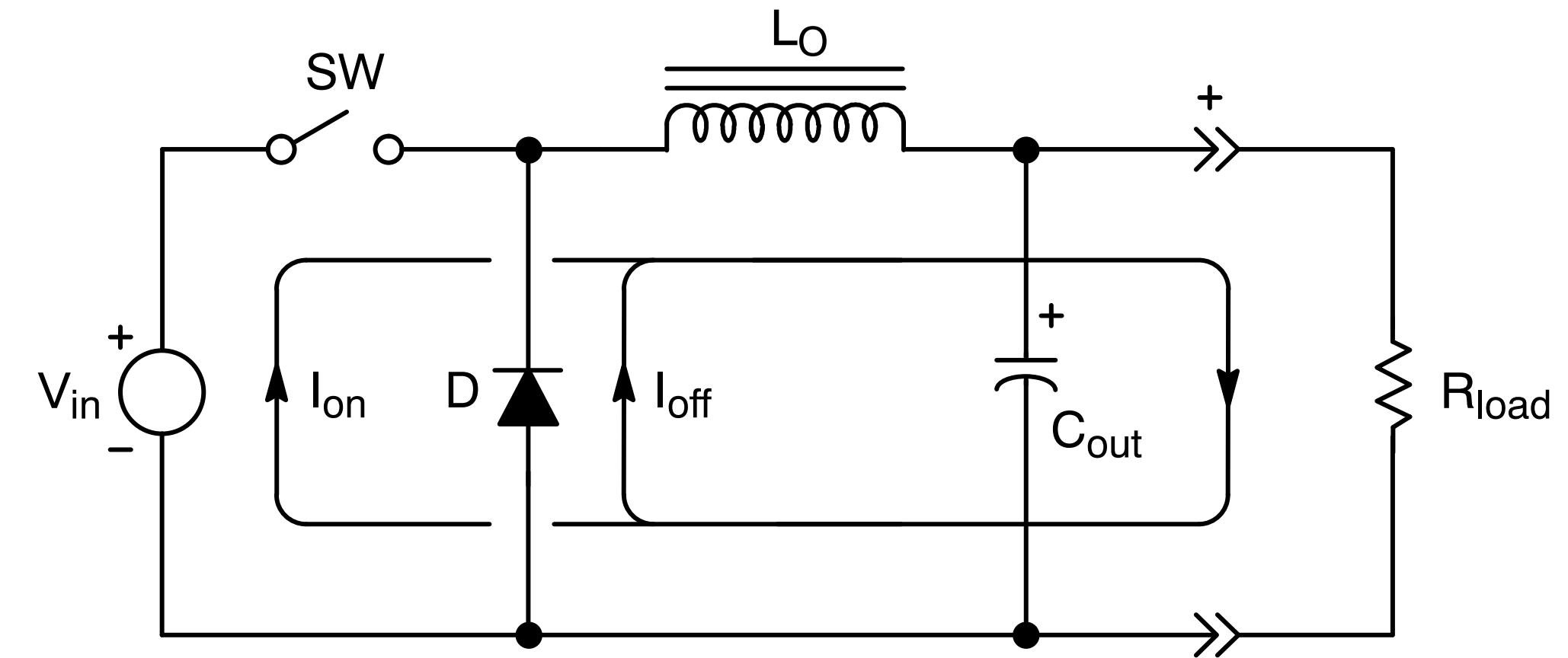
# Mạch giảm áp - BUCK converter



# Mạch giảm áp - BUCK

**Mạch giảm áp là mạch có điện áp đầu ra nhỏ hơn điện áp đầu vào, còn gọi là mạch BUCK**

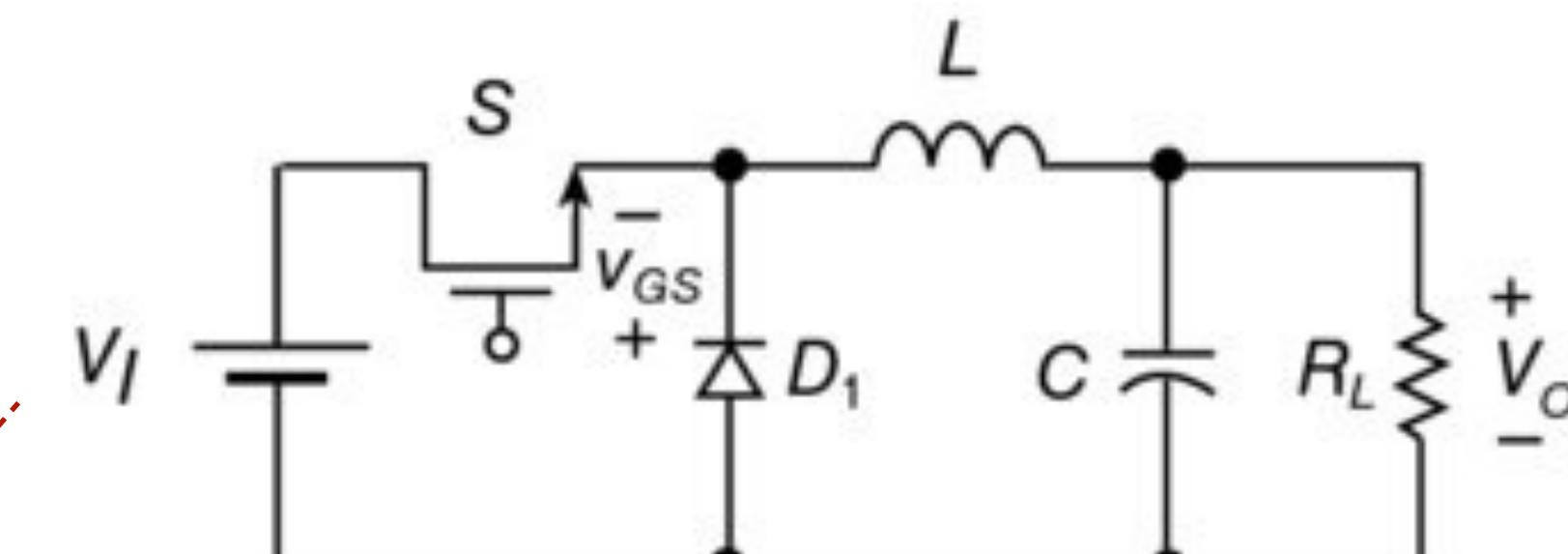
## Sơ đồ nguyên tắc của mạch Buck



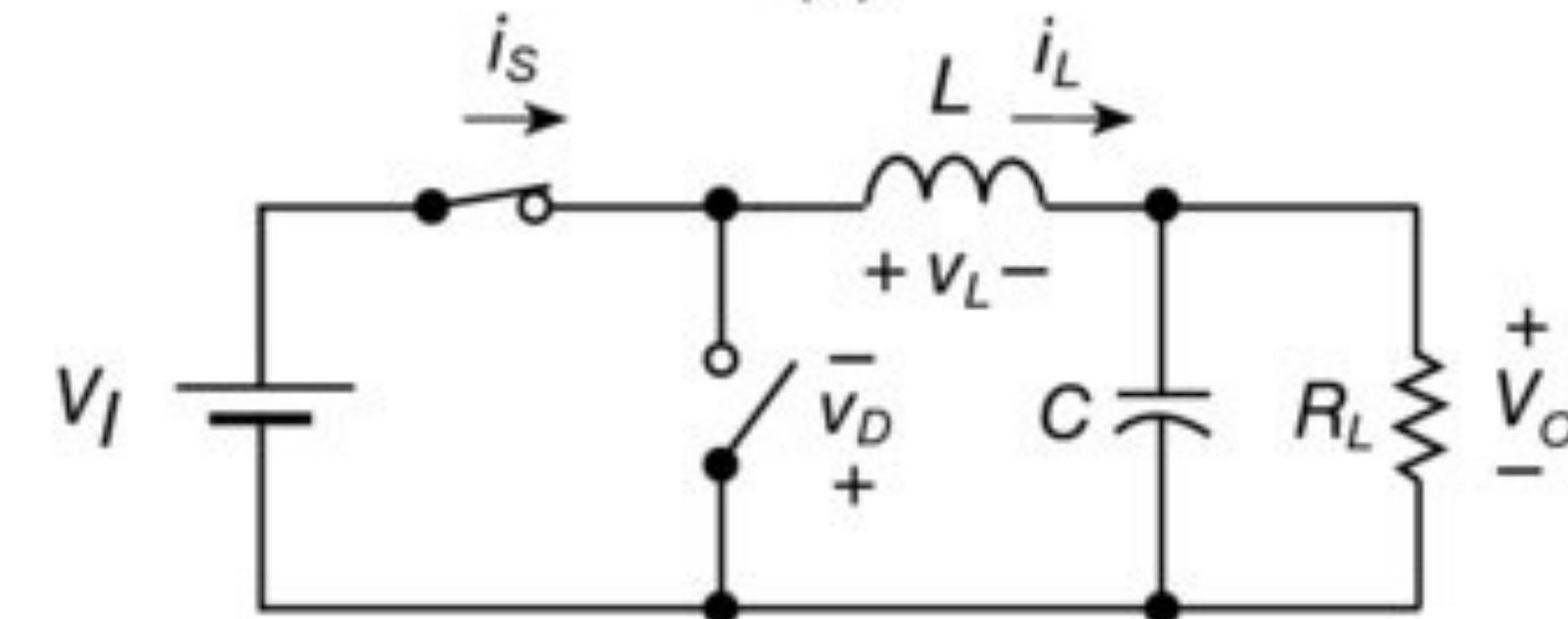
- ✓ Khi khóa S dẫn, diode ngắt, dòng qua cuộn dây tăng lên, cung cấp dòng cho tải và nạp cho tụ điện.
- ✓ Khi khóa S ngắt, diode dẫn, dòng qua cuộn dây giảm dần, tụ điện phóng qua tải

## Các chế độ hoạt động

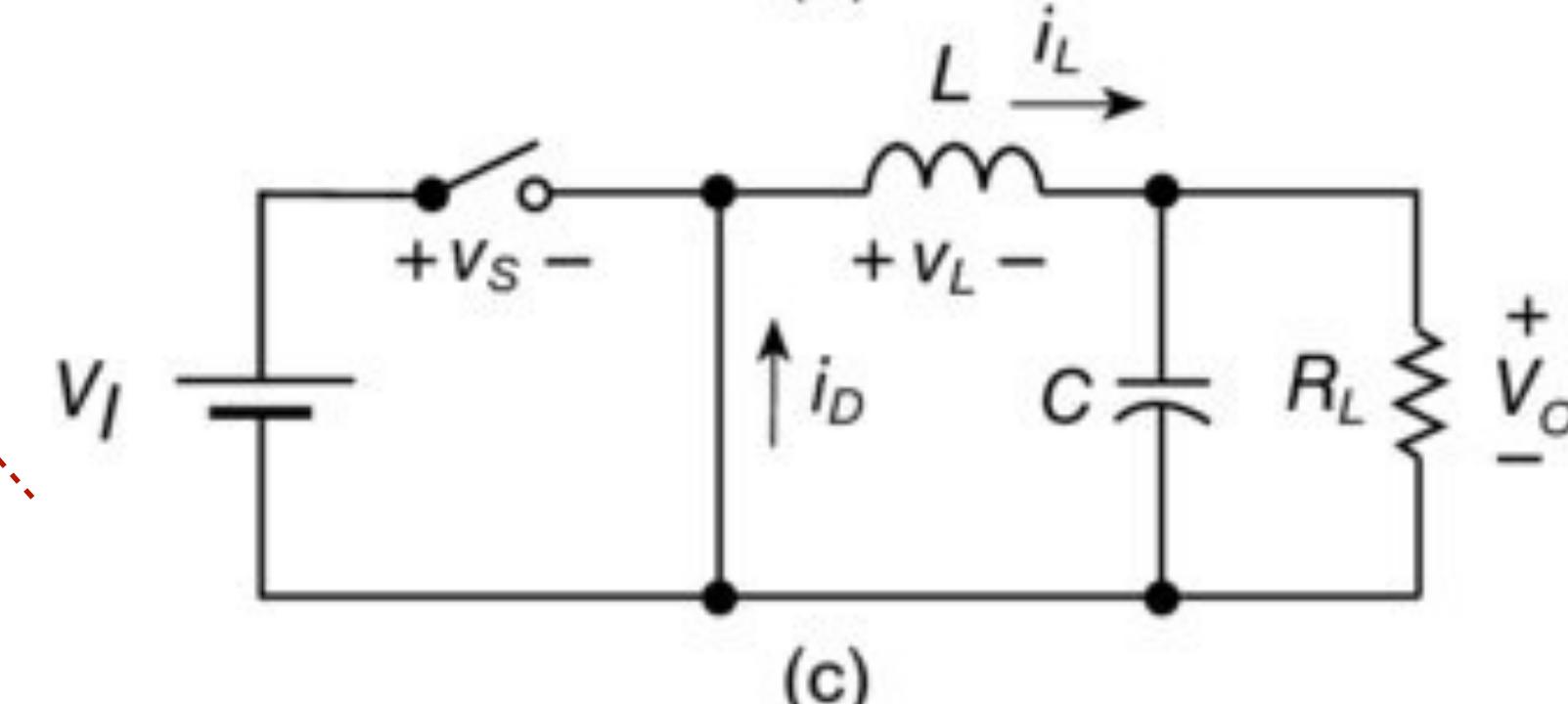
CCM-Chế độ dẫn liên tục, khi giá trị điện cảm đủ lớn



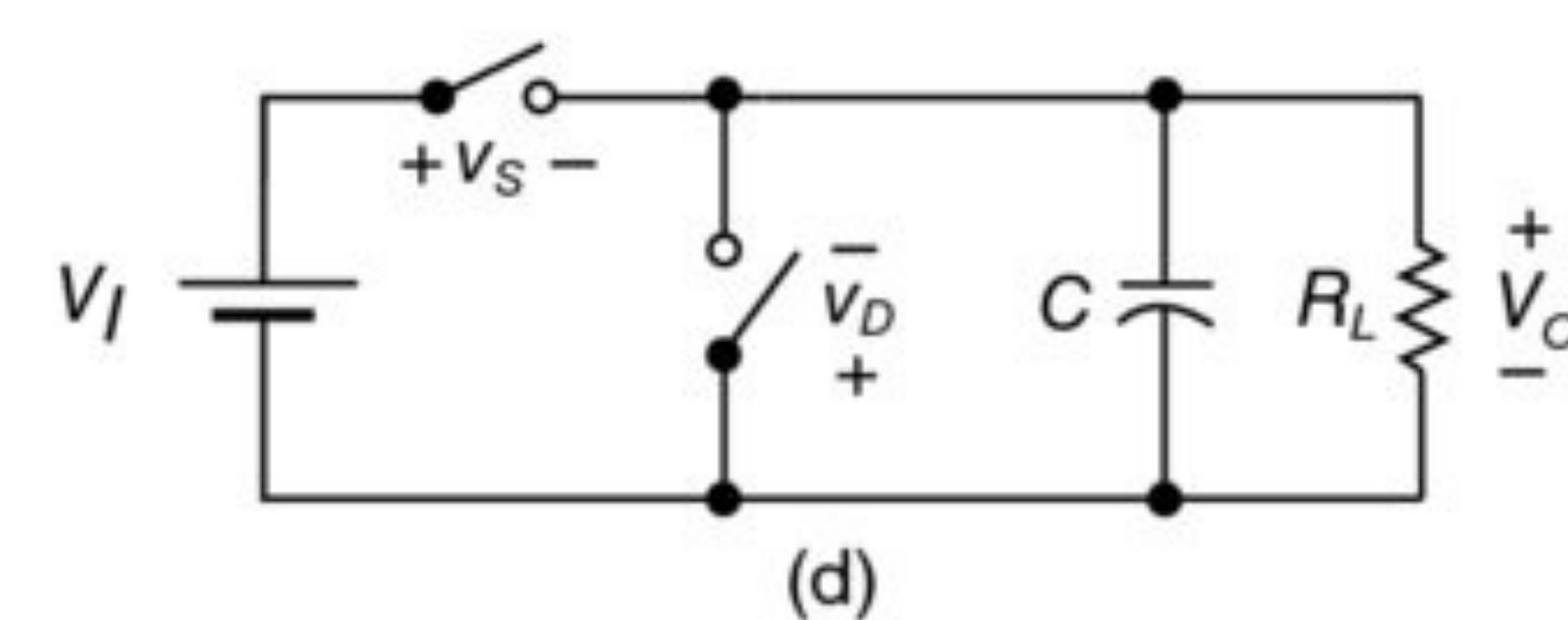
(a)



(b)



(c)



(d)

DCM - Chế độ dẫn gián đoạn, khi giá trị của điện cảm nhỏ

## Các biểu thức tính toán ở chế độ CCM của mạch Buck:

Mối quan hệ giữa điện áp ra/vào:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_p(t) dt = \frac{1}{T} \left( \int_0^{T_{on}} V_i dt + \int_{T_{on}}^T 0 dt \right) = \frac{T_{on}}{T} V_i$$

$$V_o = DV_i \quad \text{với} \quad D = T_{on}/T \quad \text{gọi là hệ số dẫn}$$

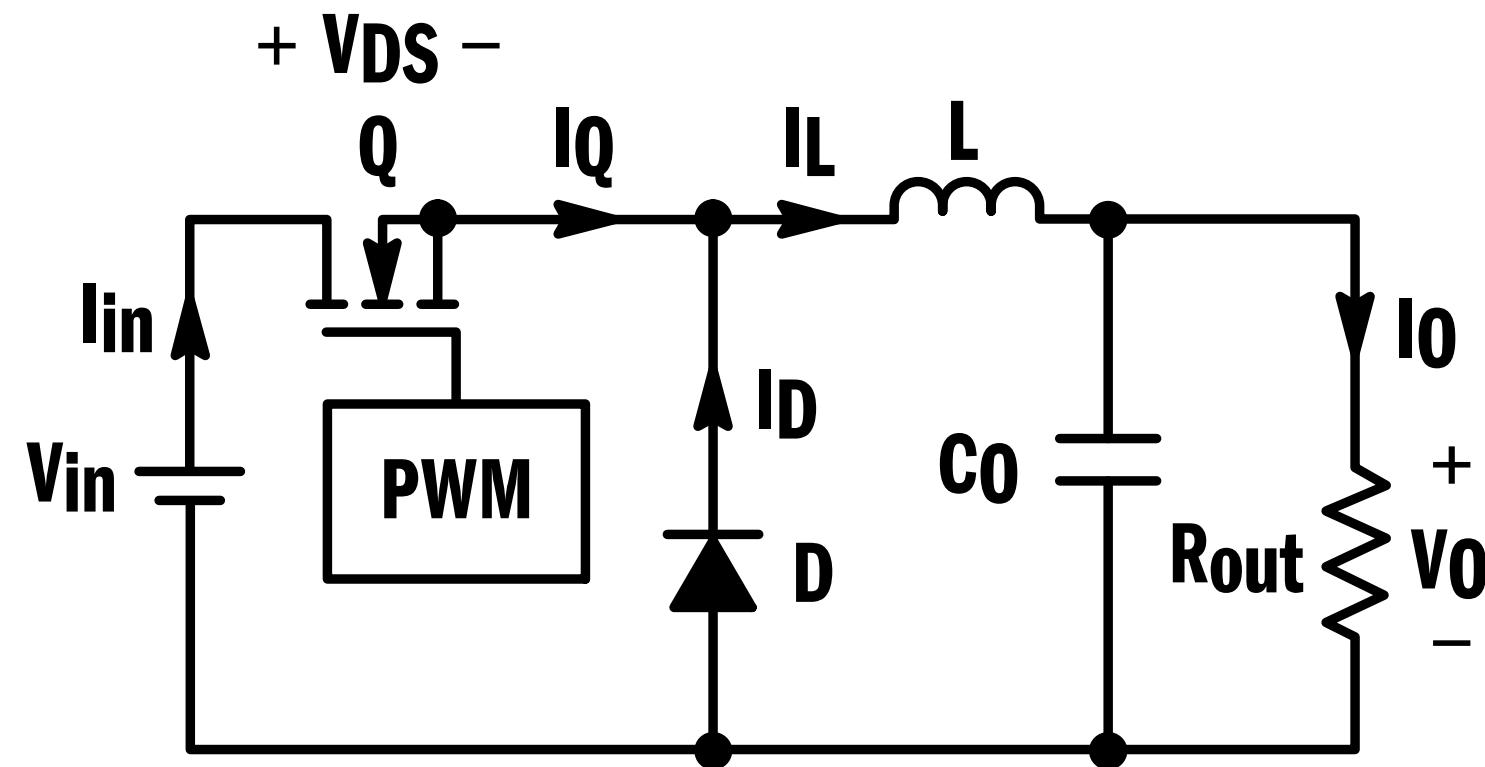
Thông số của transistor:

$$V_{DS} = V_i$$

$$I_Q = I_o + \frac{\Delta I_L}{2}$$

Độ gợn của dòng điện ra:

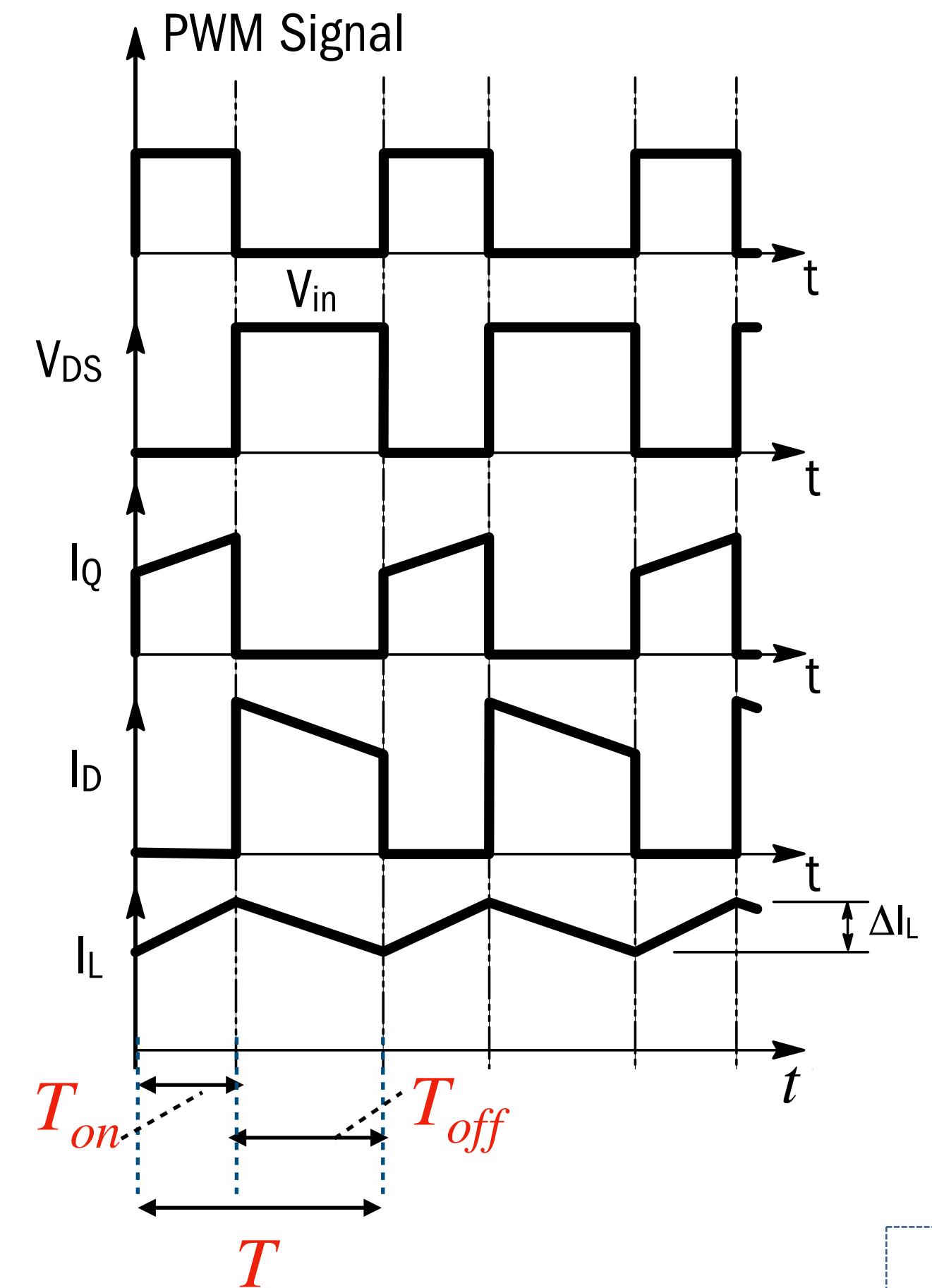
$$\Delta I_L = \frac{V_o(1 - D)T}{L} = \frac{V_o \cdot T_{off}}{L}$$



Thông số của diode:

$$V_D = V_i$$

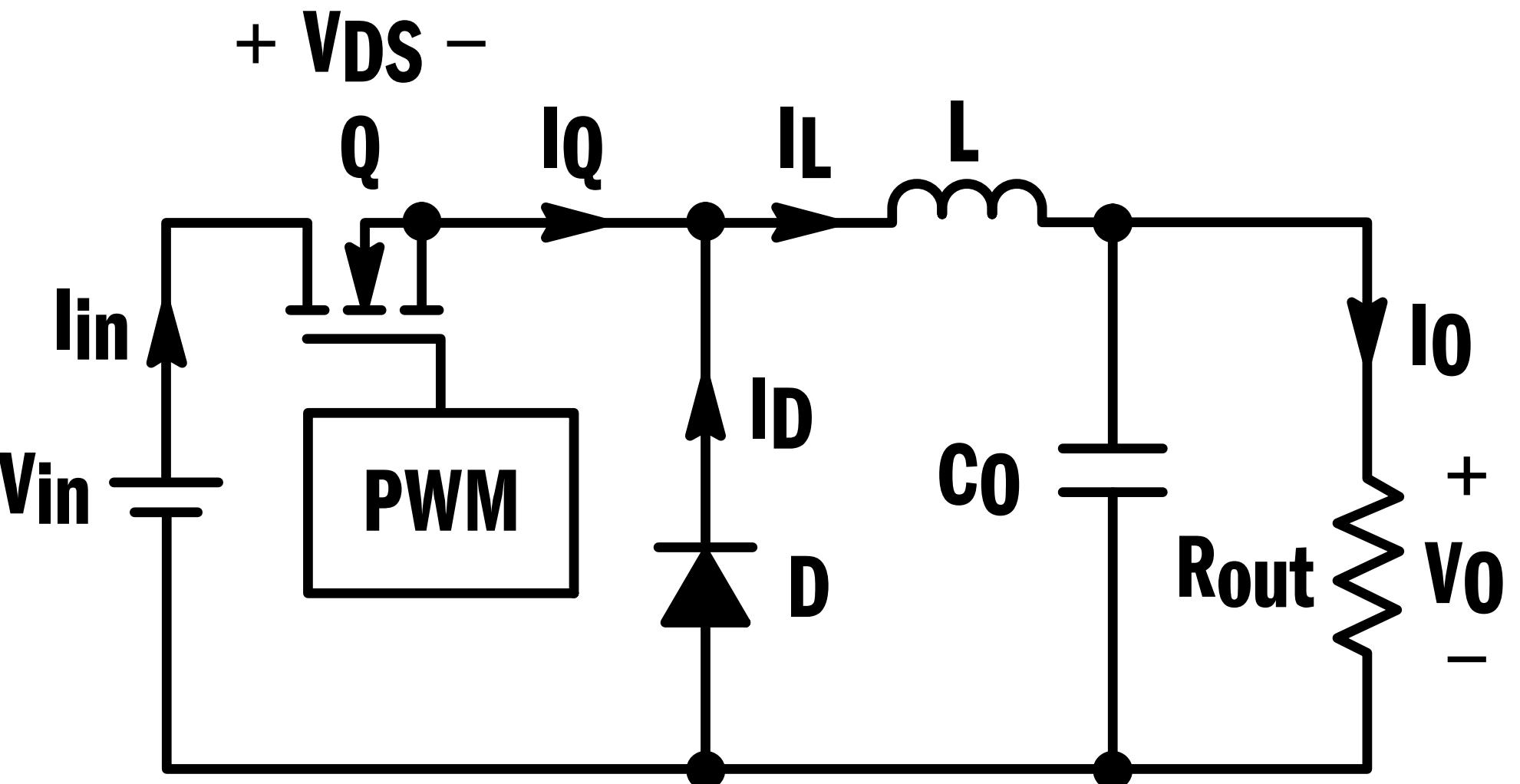
$$I_D = I_o + \frac{\Delta I_L}{2}$$



## 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:

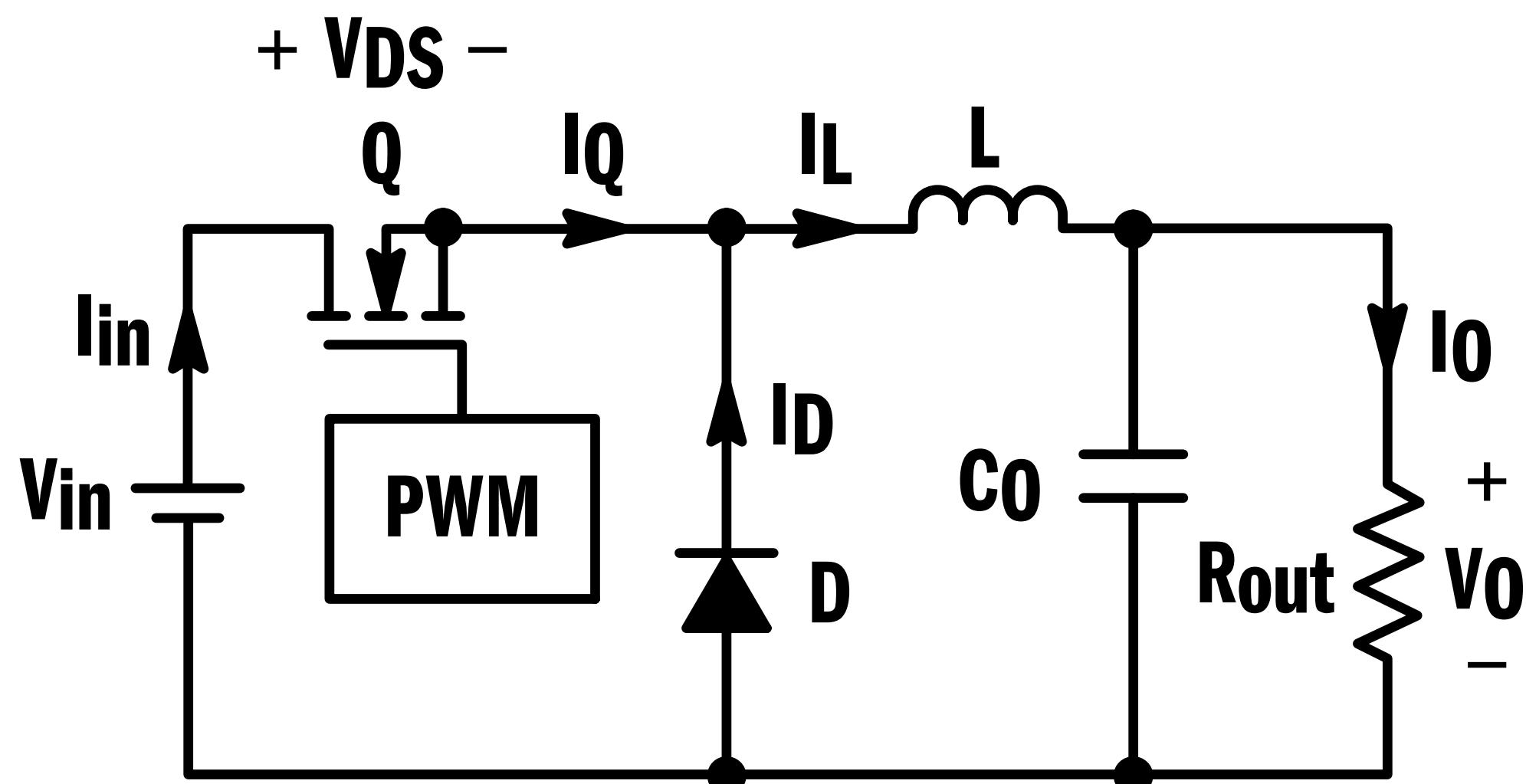
- + Điện áp DC đầu vào 50 V
- + Điện áp DC đầu ra 30 V
- + Công suất trên tải 3 W
- + Độ gợn của dòng đầu ra 30% dòng tải
- + Tần số đóng/ngắt 25 KHz
- + Hệ số dẫn 0,6



## 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  $f_S = 100kHz$



### Ví dụ 3

Một bộ giảm áp được sử dụng để cấp nguồn cho phần ứng của một động cơ DC kích từ độc lập.

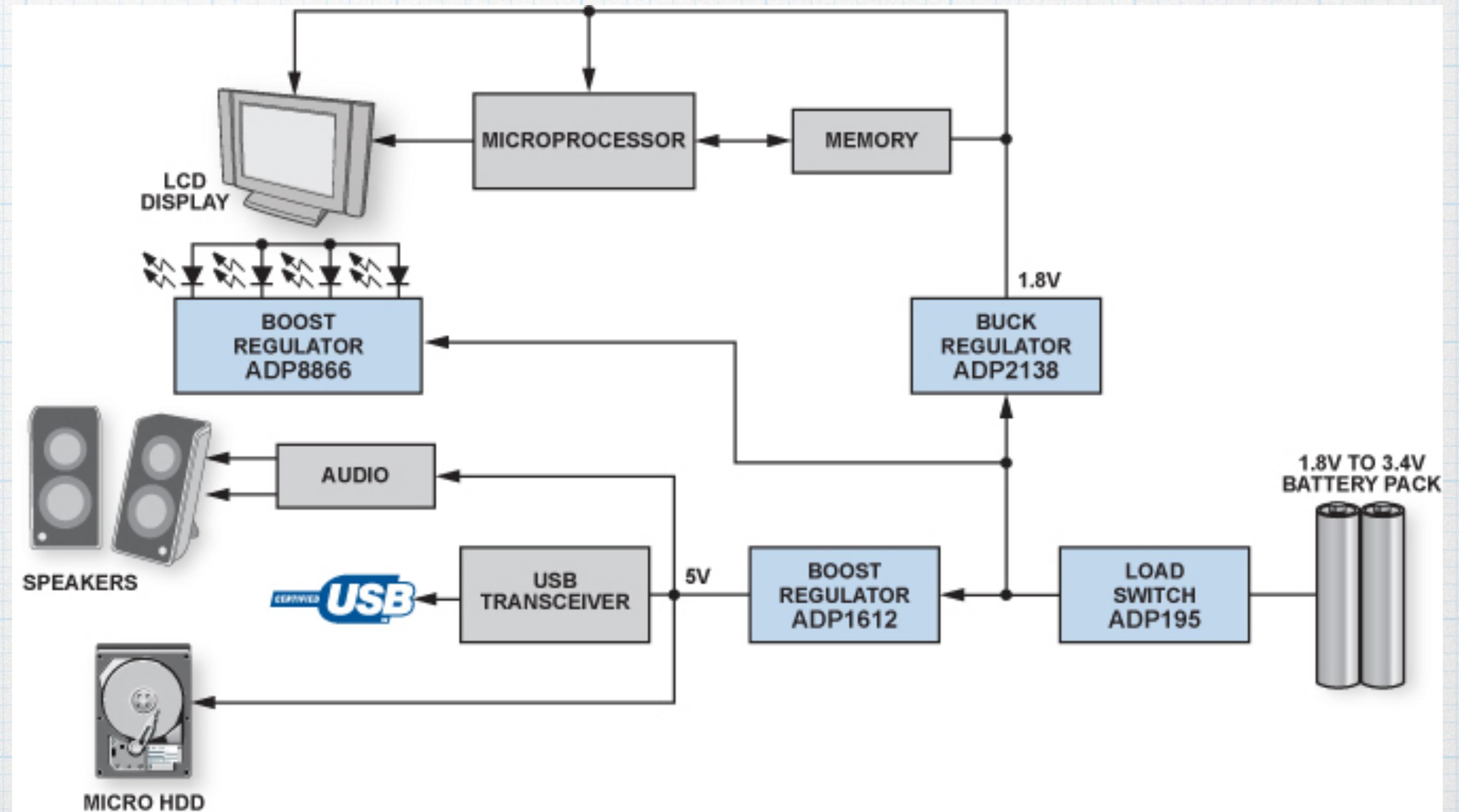
Nguồn một chiều  $V=220$  V; tần số đóng/ngắt 500 Hz.

Động cơ có điện trở phần ứng là 2 Ohm, sức điện động  $E [V] = 1,253 \times \omega [rad/s]$

Điện cảm của phần ứng đủ lớn để dòng qua động cơ liên tục và bằng giá trị định mức là 11,6 A.

- A) Tính tỉ số  $T_{on}/T$  của khoá điều khiển S khi vận tốc động cơ là 1000 vòng/phút
- B) Tính điện áp tải nhỏ nhất ở chế độ dòng tải liên tục, từ đó xác định thời gian đóng tối thiểu  $T_{on}$  của chế độ dòng liên tục.

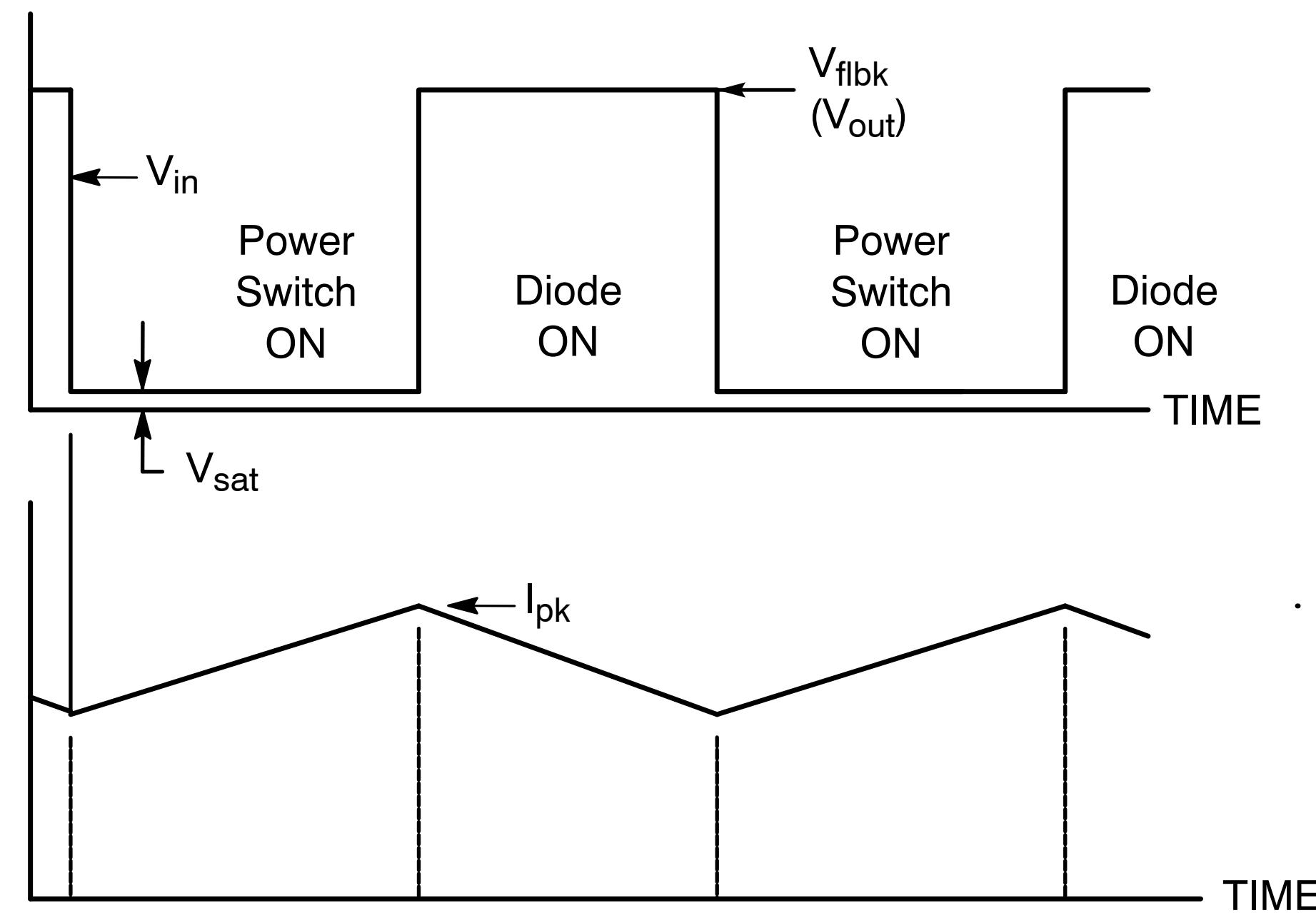
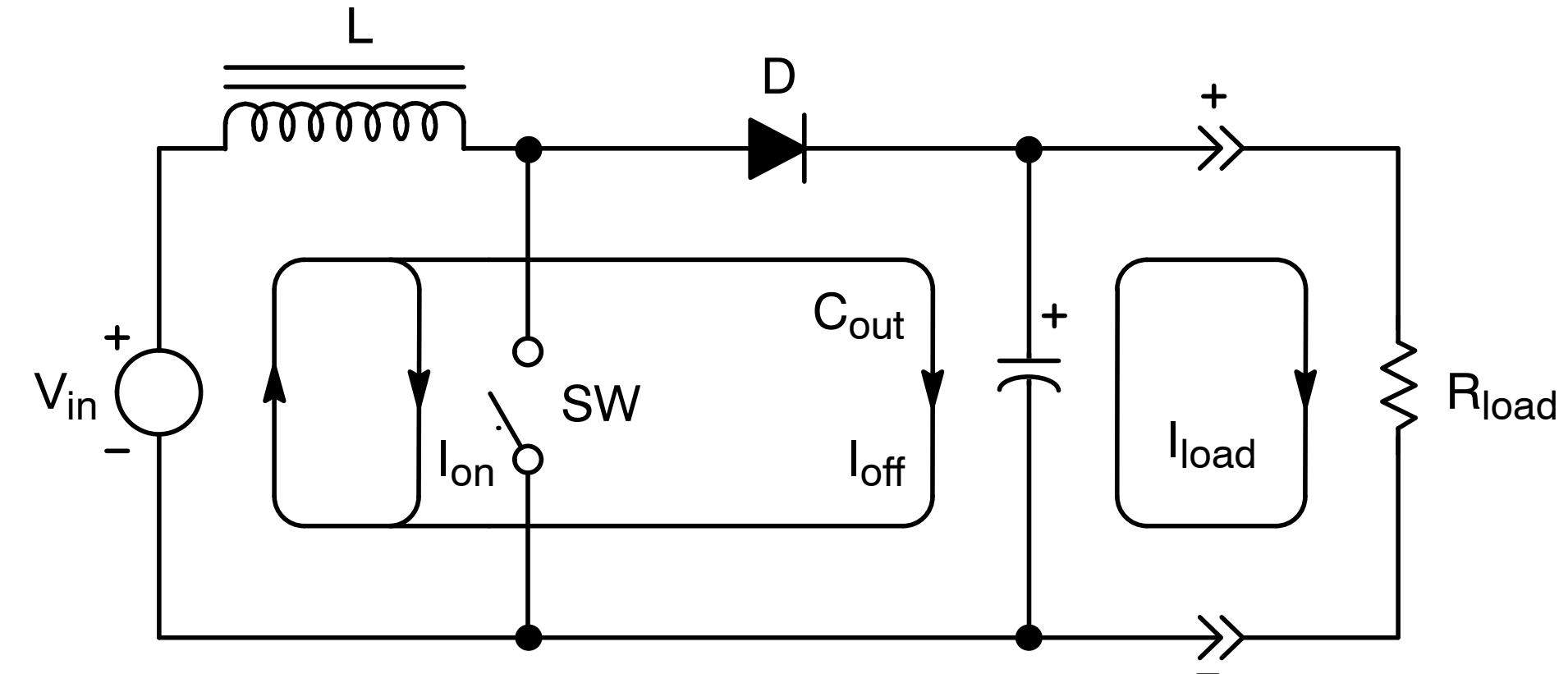
# Mạch tăng áp - BOOST converter



# Mạch tăng áp - BOOST

**Mạch tăng áp là mạch có điện áp đầu ra lớn hơn điện áp đầu vào, còn gọi là mạch BOOST**

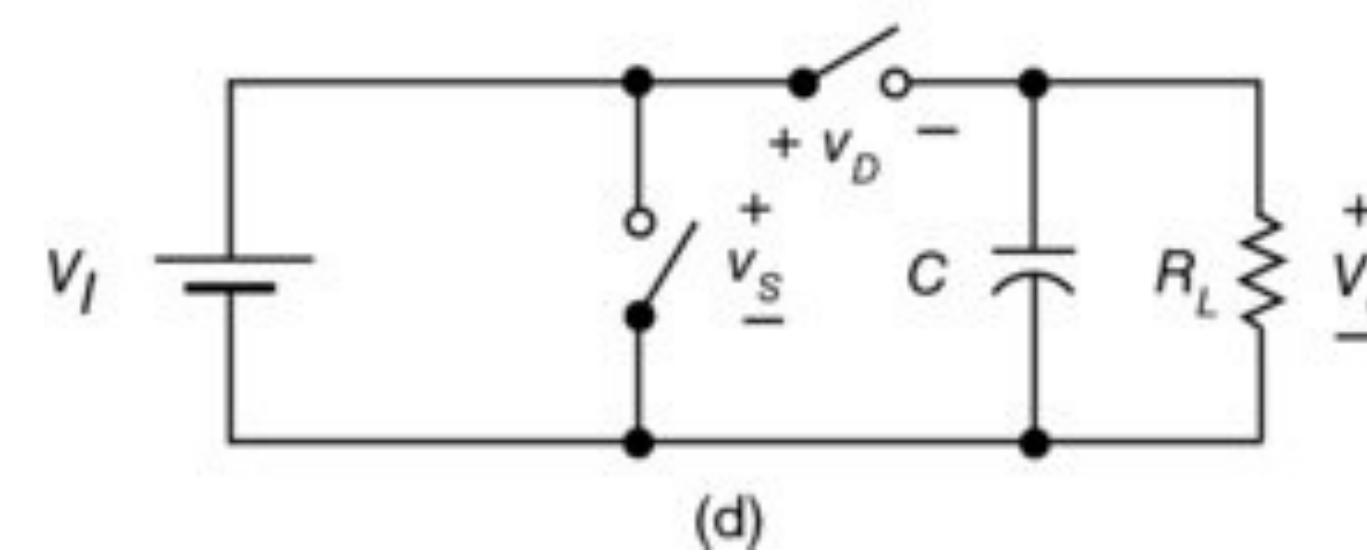
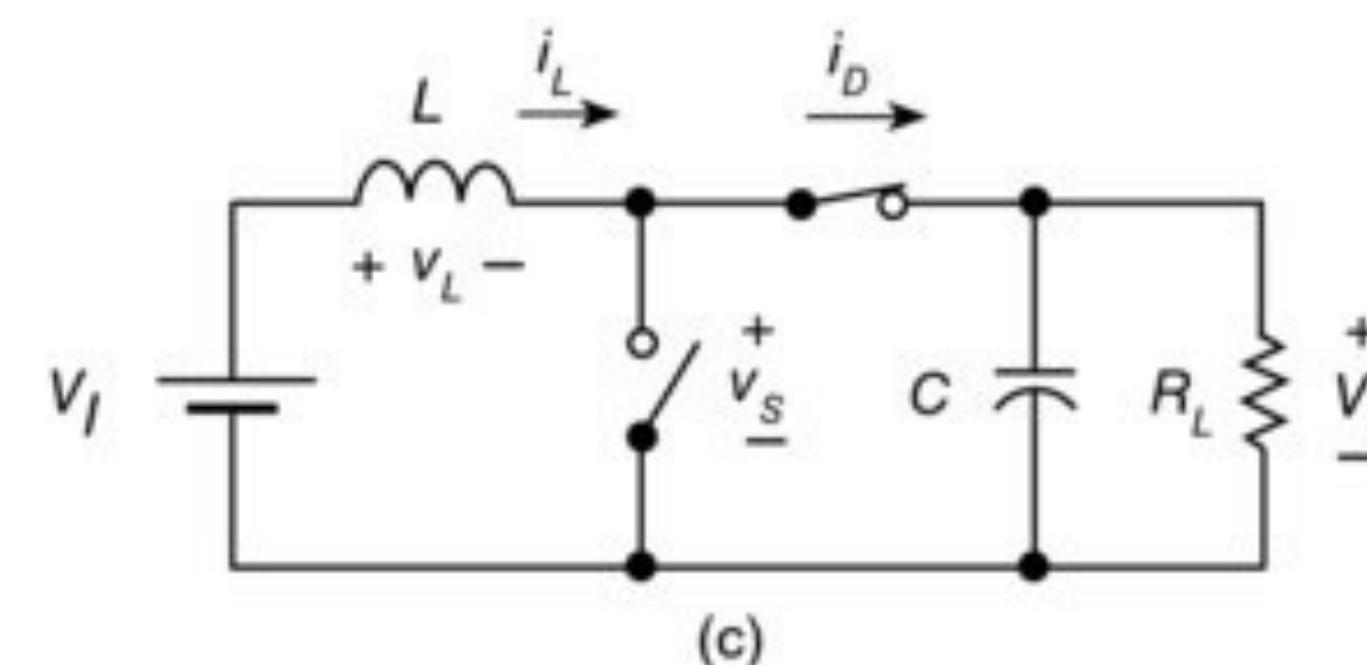
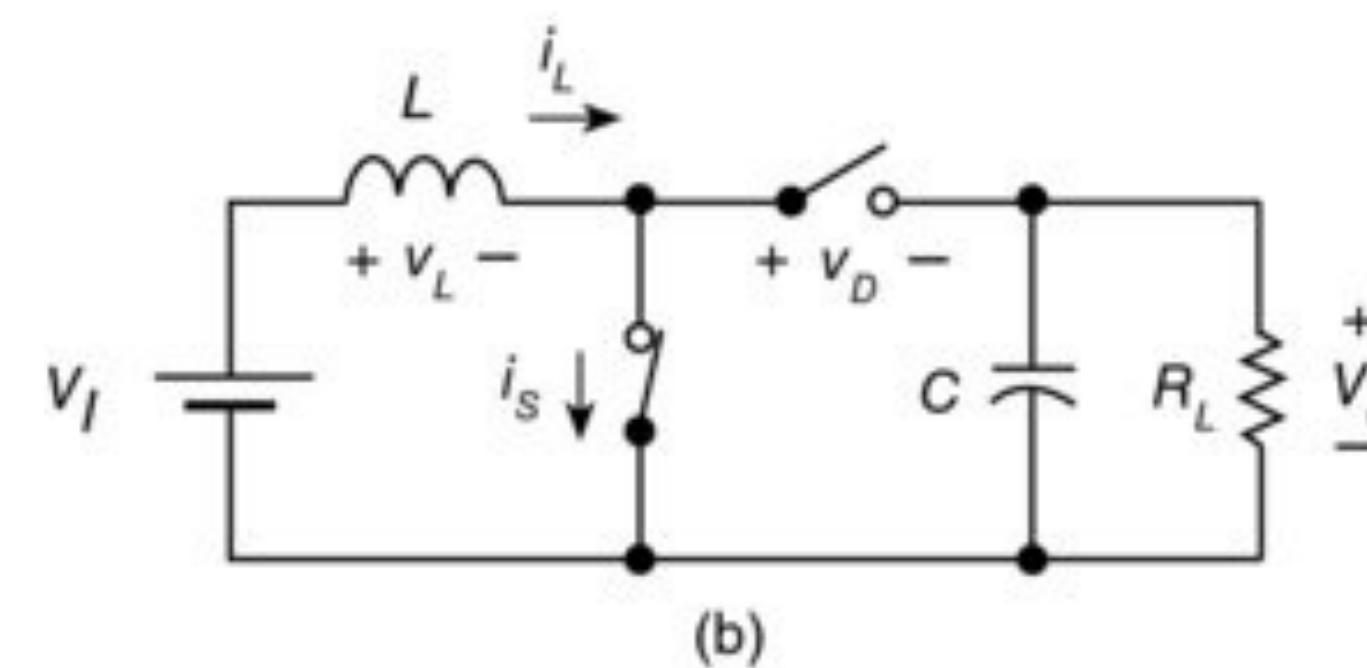
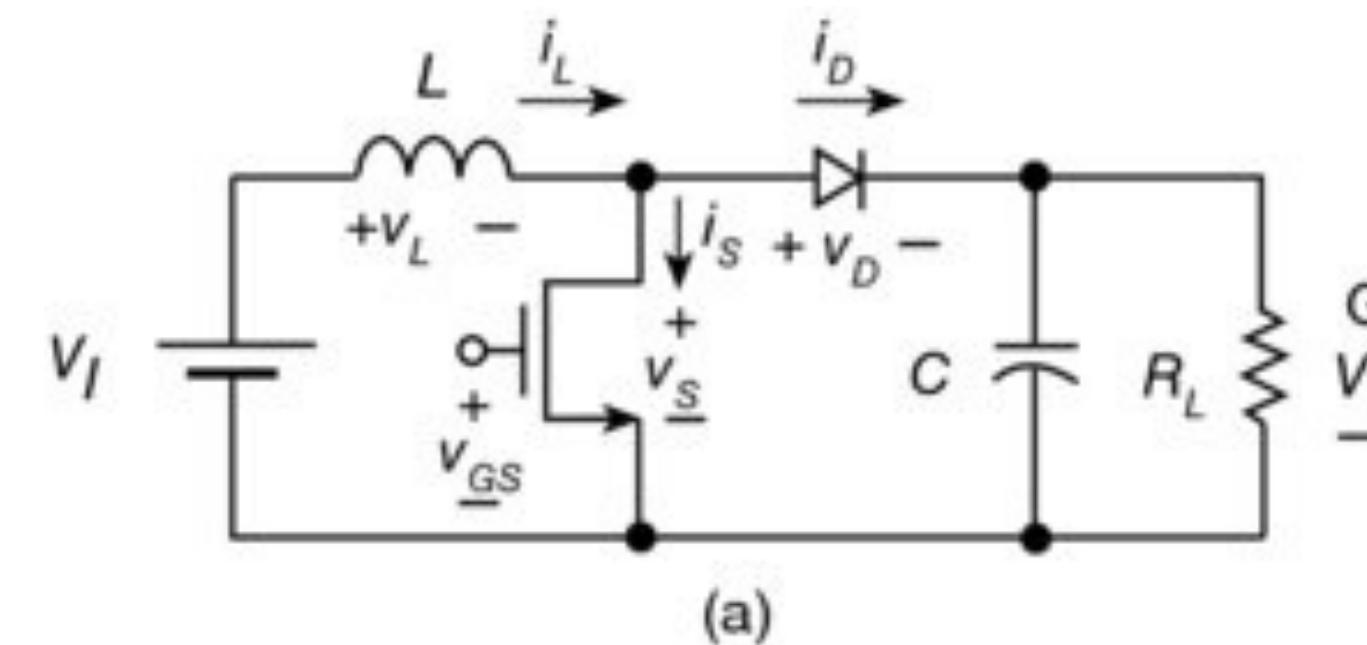
## Sơ đồ nguyên tắc của mạch Boost



- ✓ Khi khóa S dẫn, dòng qua cuộn dây tăng lên, dòng qua tải là dòng phóng của tụ điện vì diode ngắt (tụ đã được nạp ở chu kỳ trước).
- ✓ Khi khóa S ngắt, diode dẫn, điện áp  $V_i$  cùng điện áp trên cuộn dây nạp cho tụ nên  $V_o > V_i$  và dòng qua tải do nguồn  $V_i$  cấp.

## Các chế độ hoạt động

CCM-Chế độ dẫn liên tục,  
khi giá trị điện cảm đủ lớn



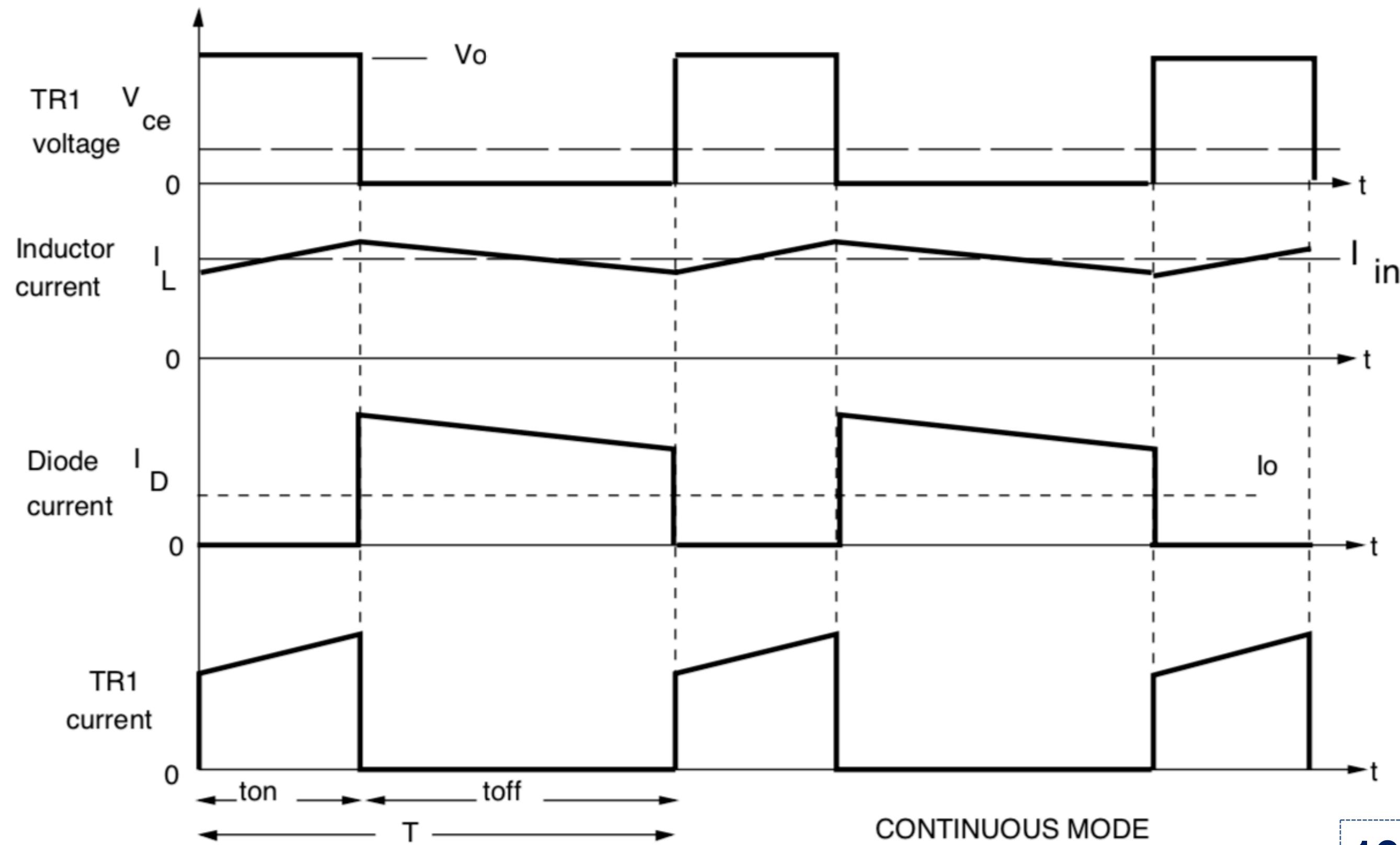
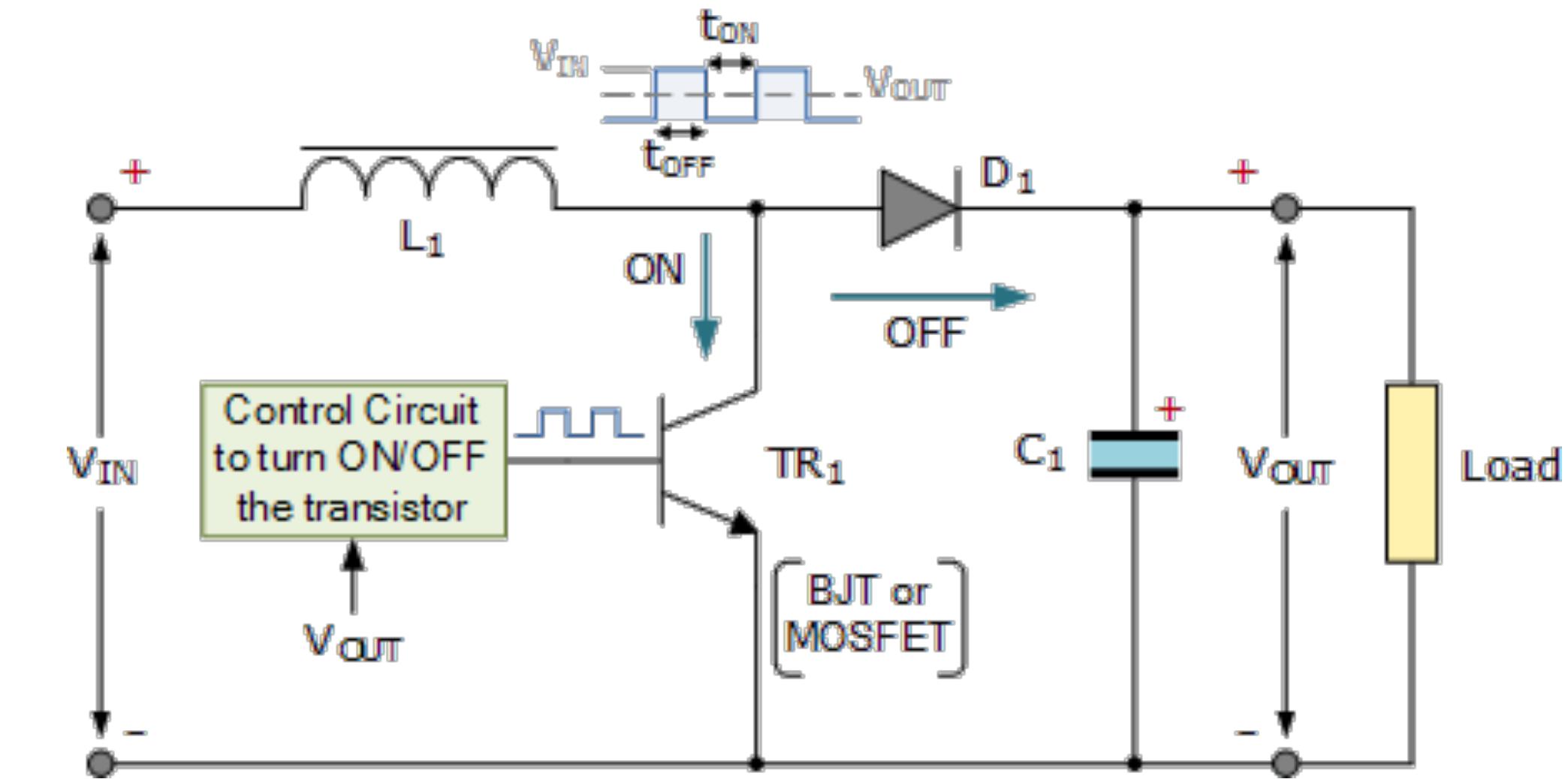
DCM - Chế độ dẫn gián đoạn,  
khi giá trị của điện cảm nhỏ

## Dạng sóng của dòng/áp trên các phần tử của một mạch Boost ở chế độ CCM

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

✓ Vì  $0 < D < 1$  nên điện áp đầu ra lớn hơn điện áp đầu vào

✓ Công suất đầu ra luôn nhỏ hơn công suất đầu vào, vì điện áp ra lớn hơn điện áp vào nên dòng qua tải luôn nhỏ hơn dòng qua chuyển mạch S.



## Các biểu thức tính toán ở chế độ CCM của mạch Boost:

(CCM để độ gợn đầu ra nhỏ nhất)

Mối quan hệ giữa điện áp ra/vào:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T V_p(t) dt = \frac{1}{T} \left( \int_0^{T_{on}} 0 dt + \int_{T_{on}}^T V_i dt \right) = \frac{T_{off}}{T} V_i$$

$$V_o = \frac{V_i}{1 - D} \quad \text{với} \quad D = T_{on}/T \quad \text{là hệ số dẫn}$$

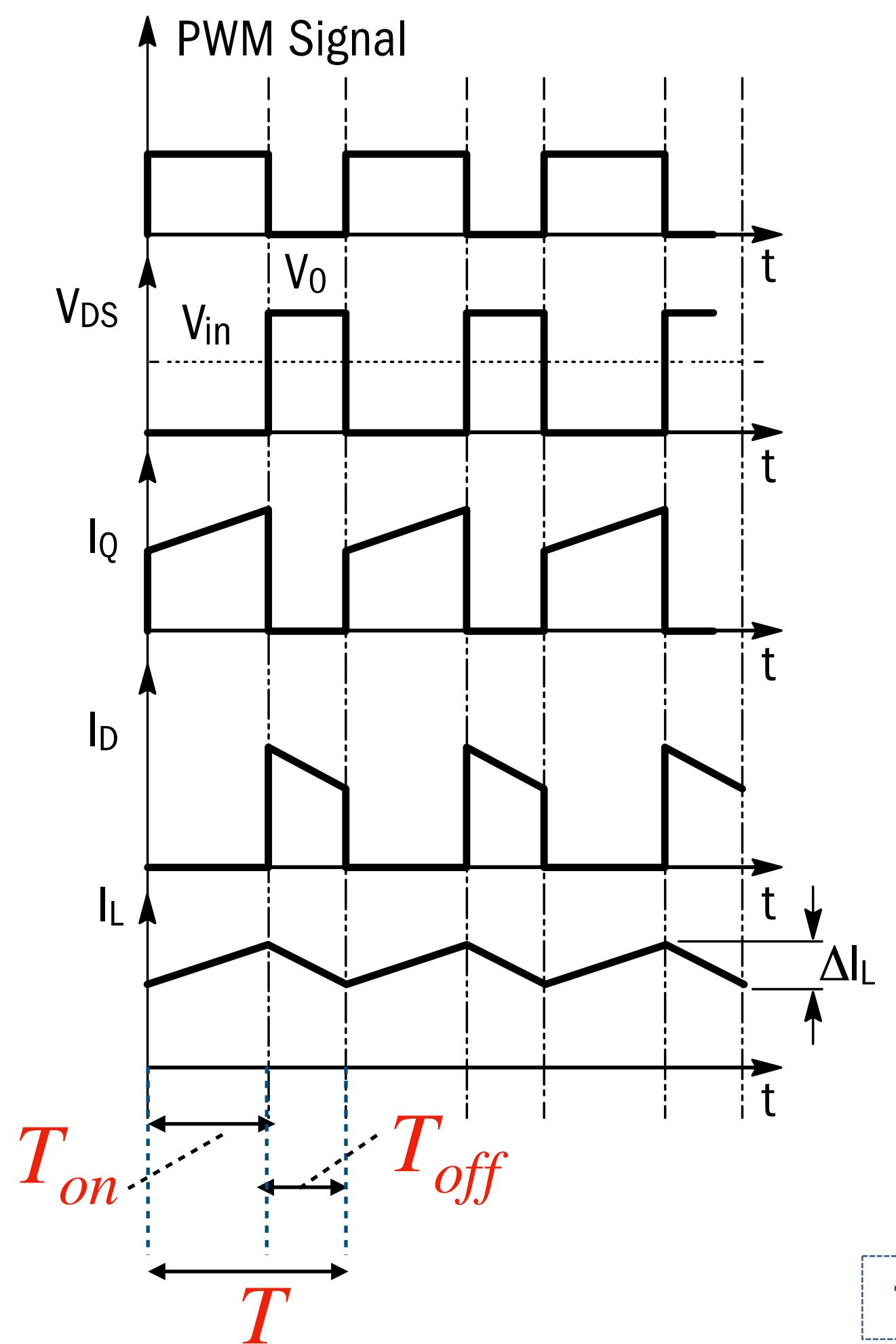
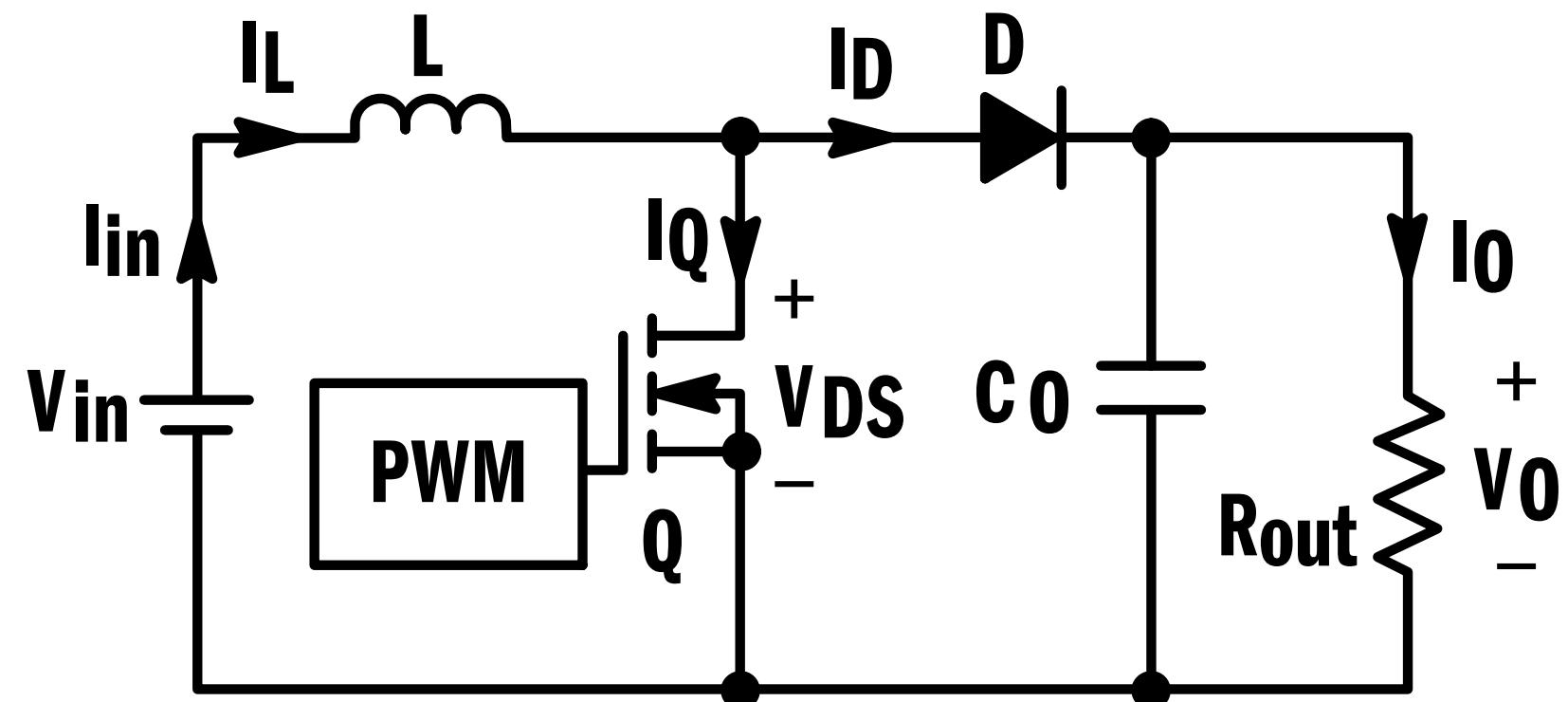
Thông số của transistor:

$$V_{DS} = V_o$$

$$I_Q = \frac{I_o}{1 - D} + \frac{\Delta I_L}{2}$$

Độ gợn của dòng điện ra:

$$\Delta I_L = \frac{(V_o - V_i)(1 - D)T}{L} = \frac{(V_o - V_i) \cdot T_{off}}{L}$$



## Các biểu thức tính toán ở chế độ DCM của mạch Boost:

(DCM để cuộn cảm có giá trị nhỏ nhất)

Mối quan hệ giữa điện áp ra/vào:

$$V_o = \frac{1}{2} V_i (1 + \sqrt{\frac{2D^2 R_o}{fL}})$$

với  $f = 1/T$

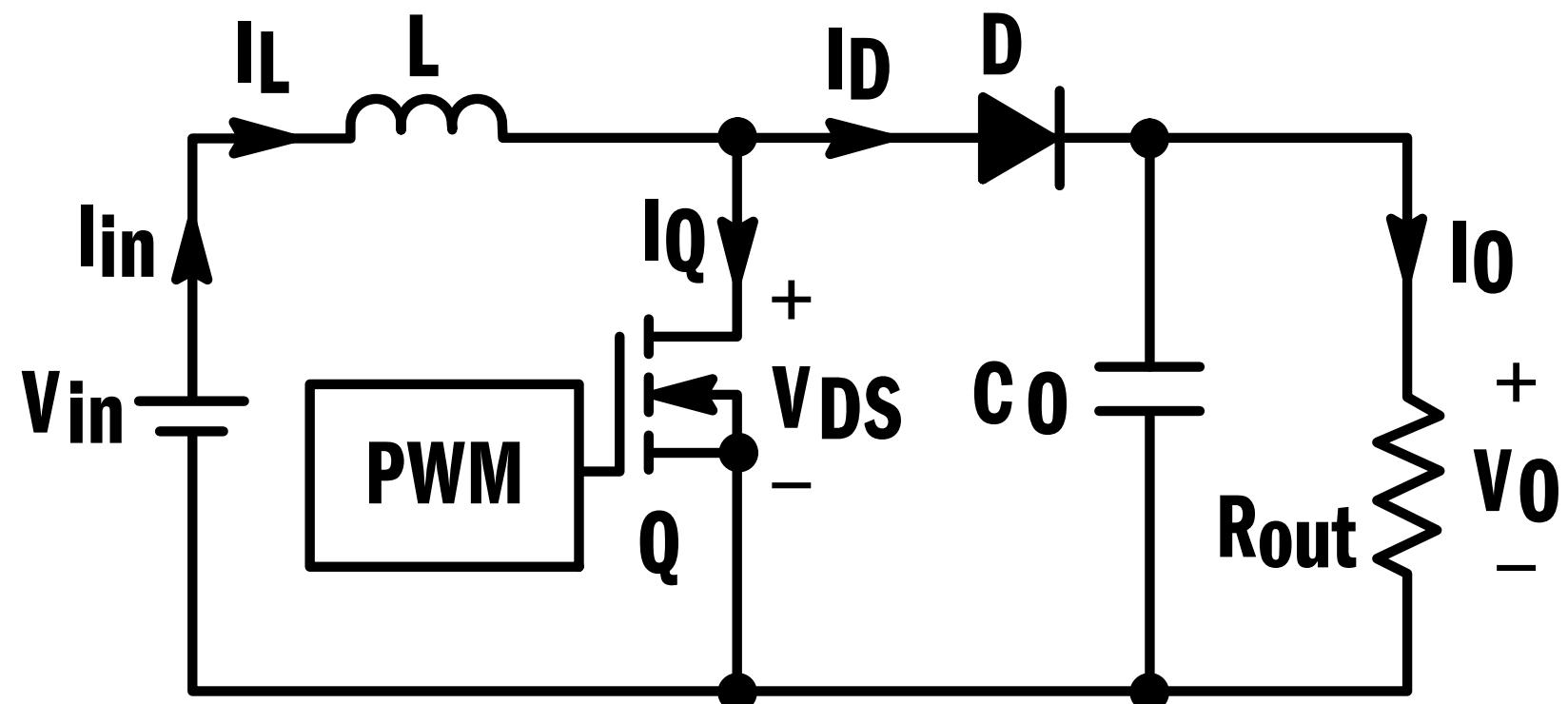
Thông số của transistor:

$$V_{DS} = V_o$$

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

Độ gợn của dòng điện ra:

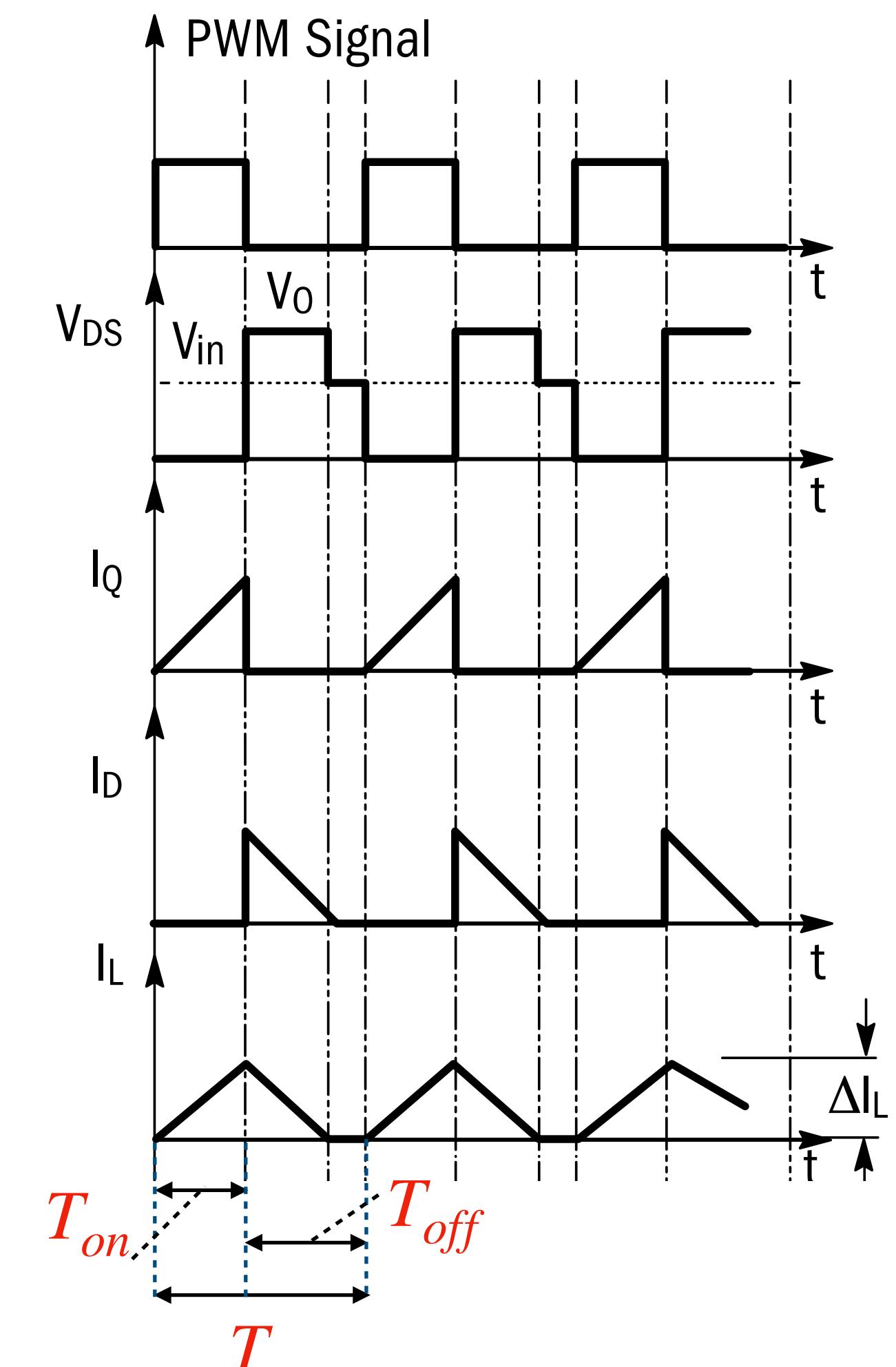
$$\Delta I_L = \frac{V_i T_{on}}{L}$$



Thông số của diode:

$$V_D = V_o$$

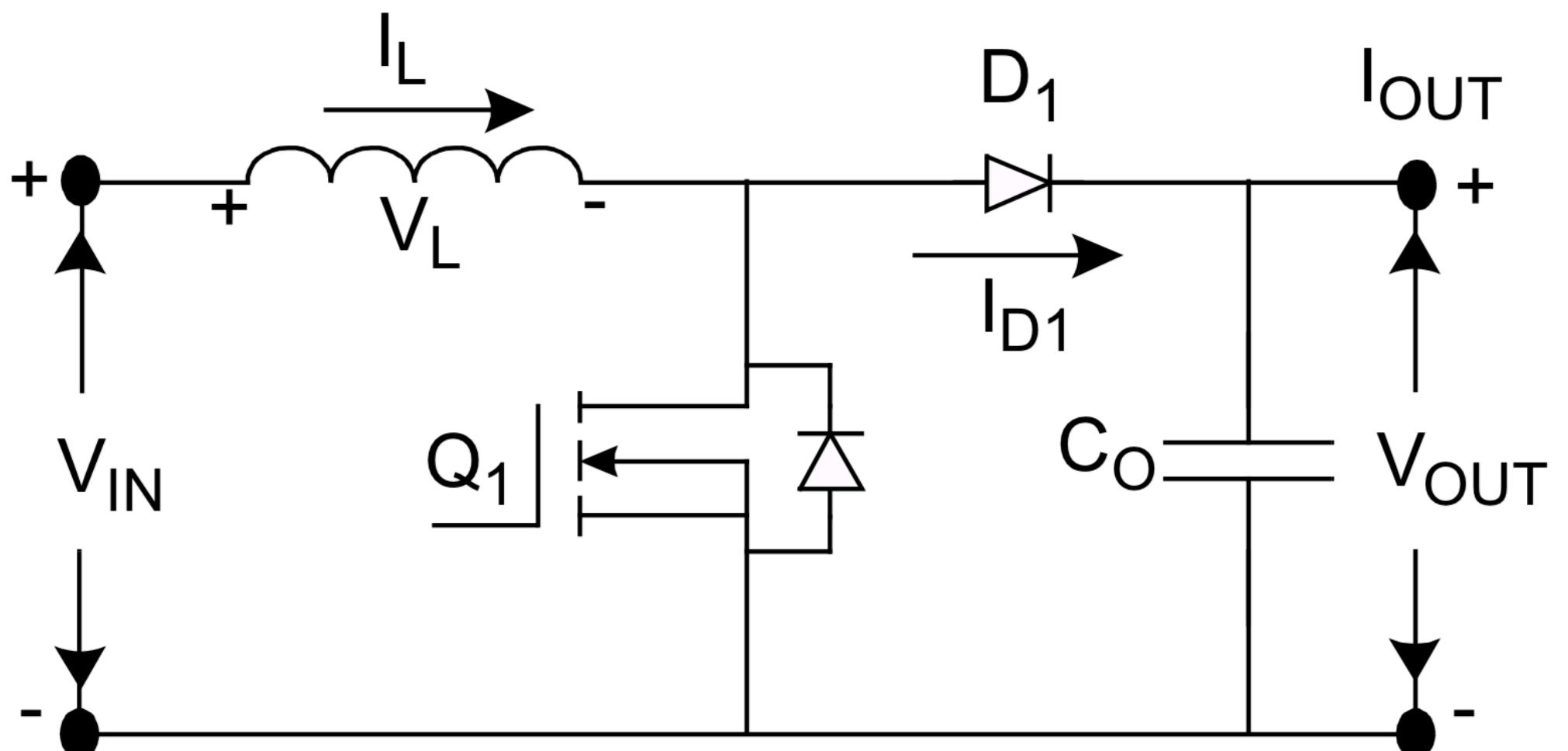
$$I_D = \frac{V_i T_{on}}{L}$$



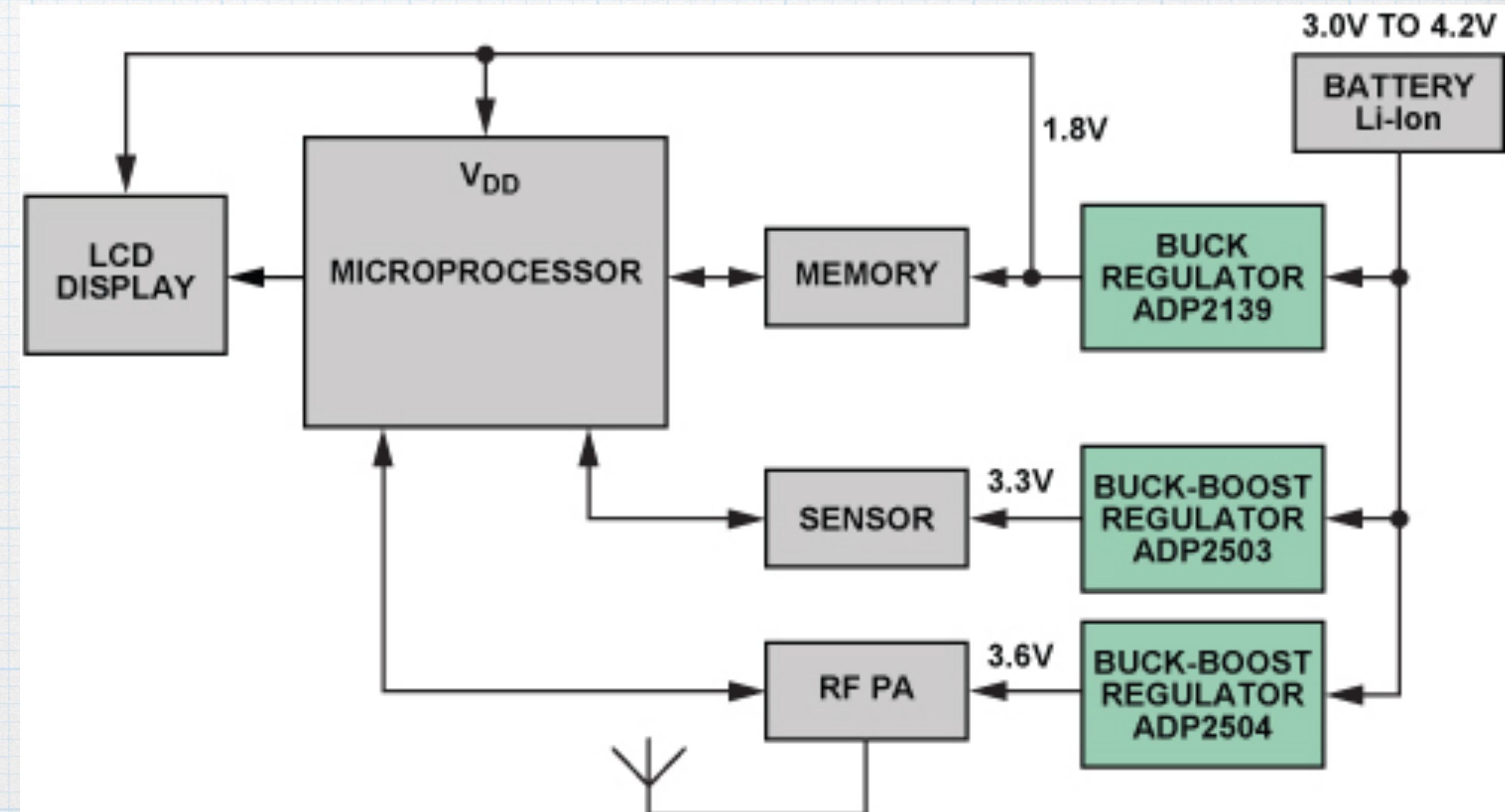
## Ví dụ 4

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

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



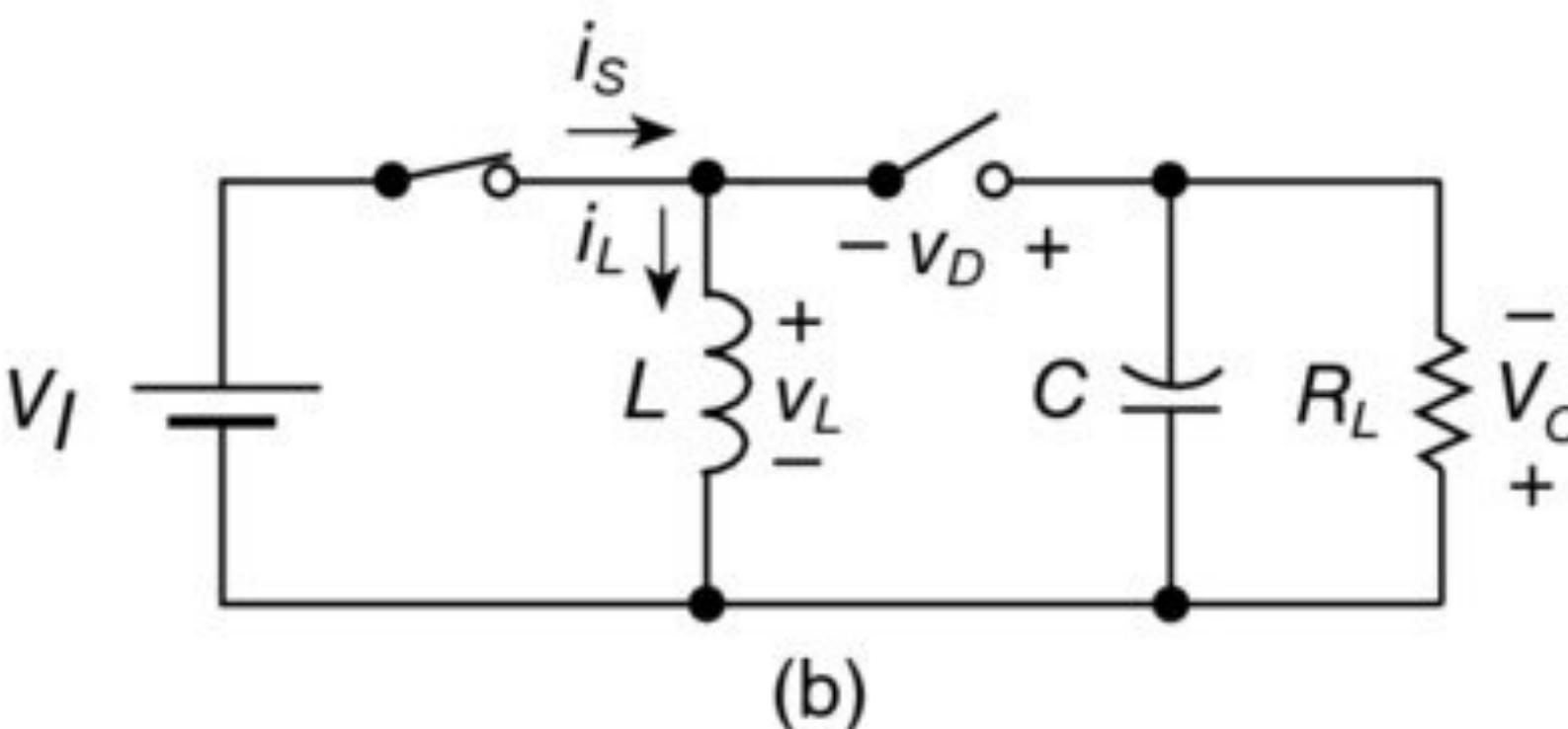
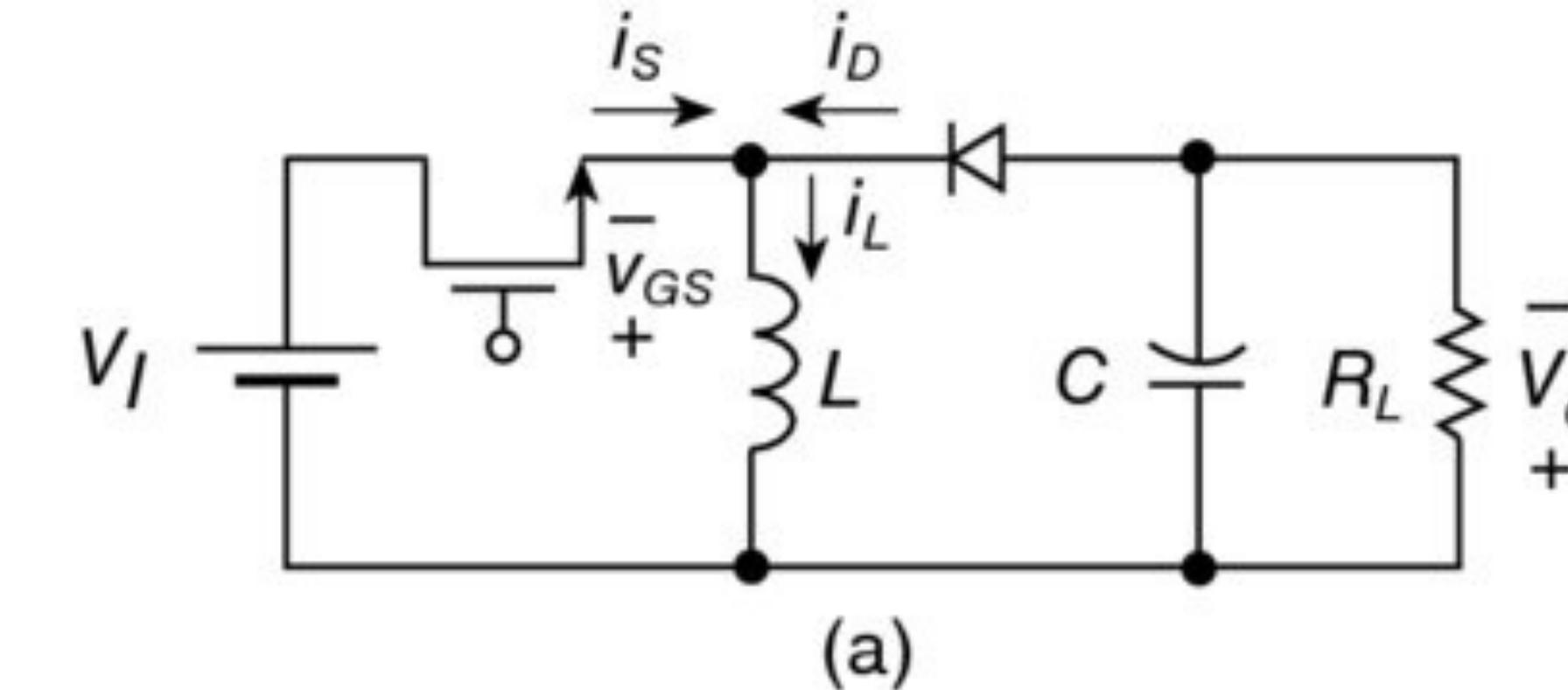
# Mạch tăng/giảm áp - BOOST/BUCK converter



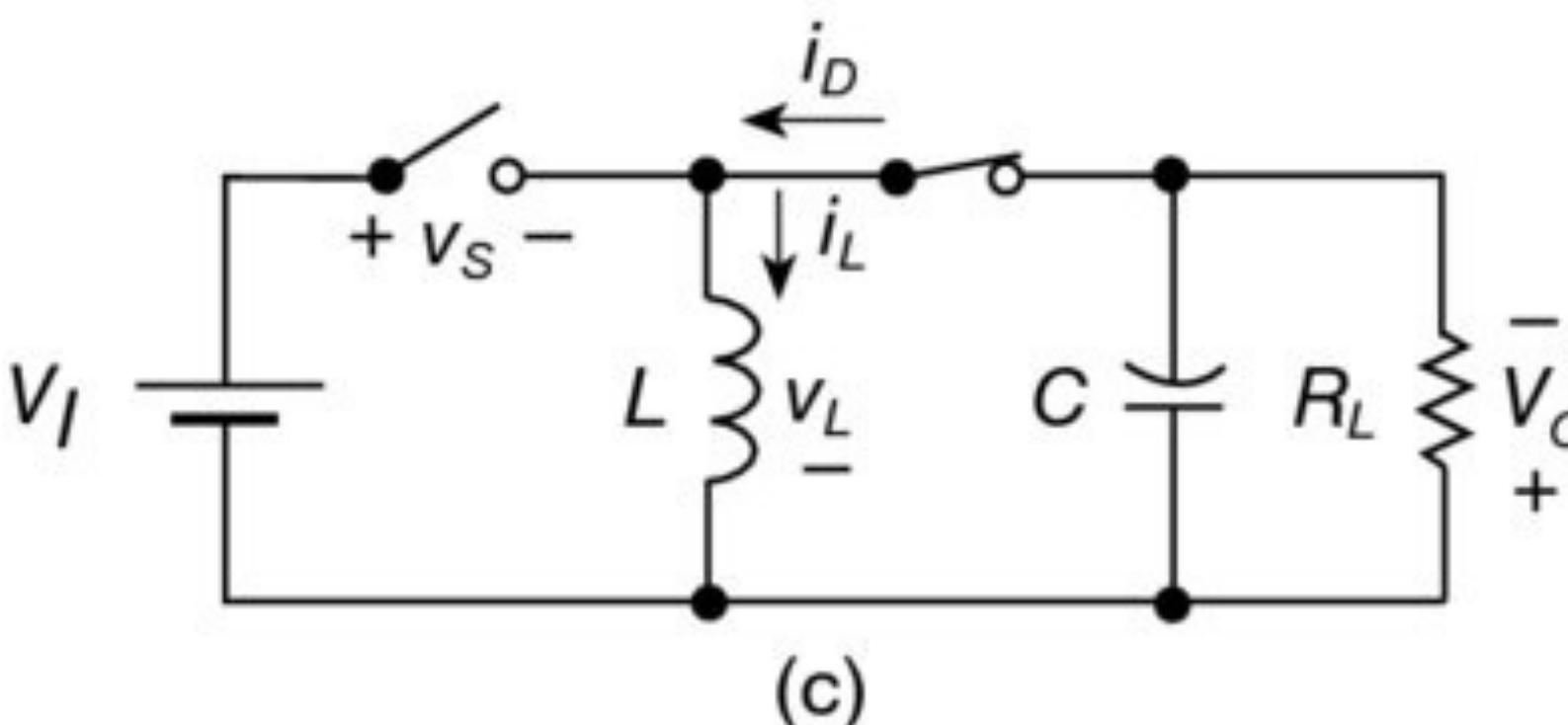
# Mạch tăng-giảm áp

Mạch tăng-giảm áp là mạch có điện áp đầu ra có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn điện áp đầu vào tùy theo hệ số điều khiển, còn gọi là mạch BUCK-BOOST

## Sơ đồ nguyên tắc của mạch Buck-Boost



✓ Khi khóa S dẫn, dòng đầu vào nạp năng lượng cho cuộn dây, diode ngắt, dòng qua tải chính là dòng phóng của tụ điện.



✓ Khi khóa S ngắt, cuộn dây giải phóng năng lượng, diode dẫn, dòng qua tải chính là dòng nạp của tụ điện.

## Các biểu thức tính toán ở chế độ CCM của mạch Buck-Boost:

Mối quan hệ giữa điện áp ra/vào:

$$V_o = -\frac{D}{1-D} \times V_i \quad \text{với} \quad D = T_{on}/T \quad \text{là hệ số dẫn}$$

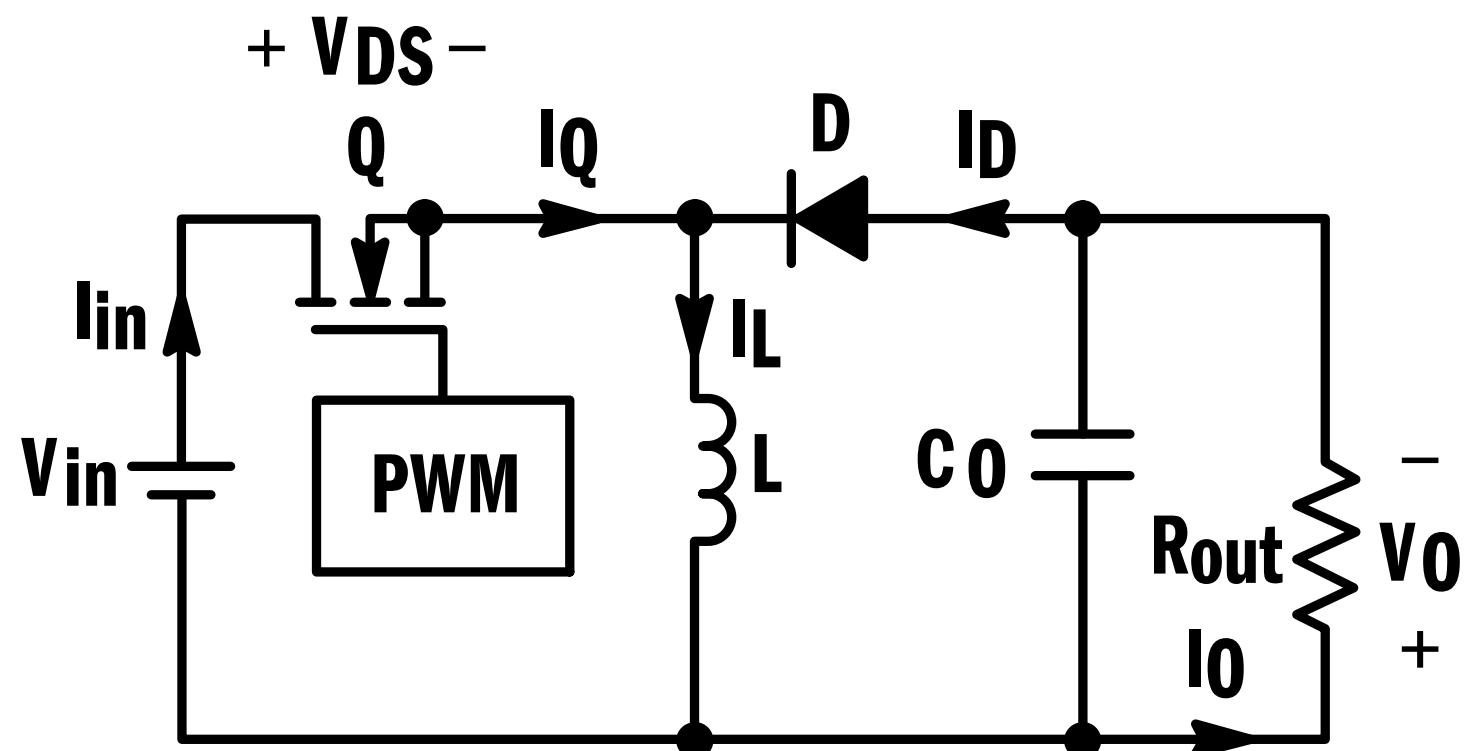
Thông số của transistor:

$$V_{DS} = |V_o| + V_i$$

$$I_Q = \frac{I_o}{1-D} + \frac{\Delta I_L}{2}$$

Độ gợn của dòng điện ra:

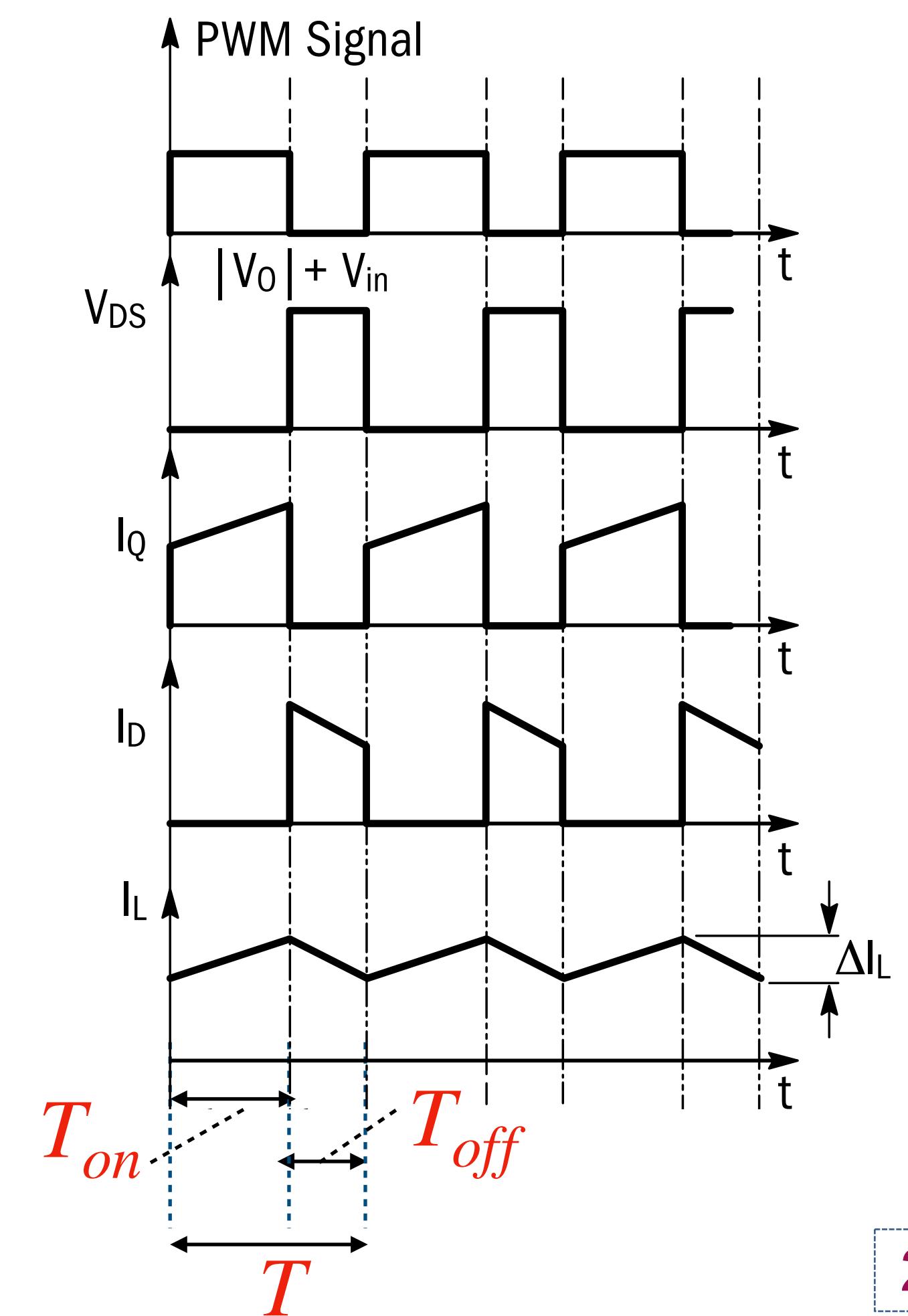
$$\Delta I_L = \frac{V_o(1-D)T}{L} = \frac{V_o \cdot T_{off}}{L}$$

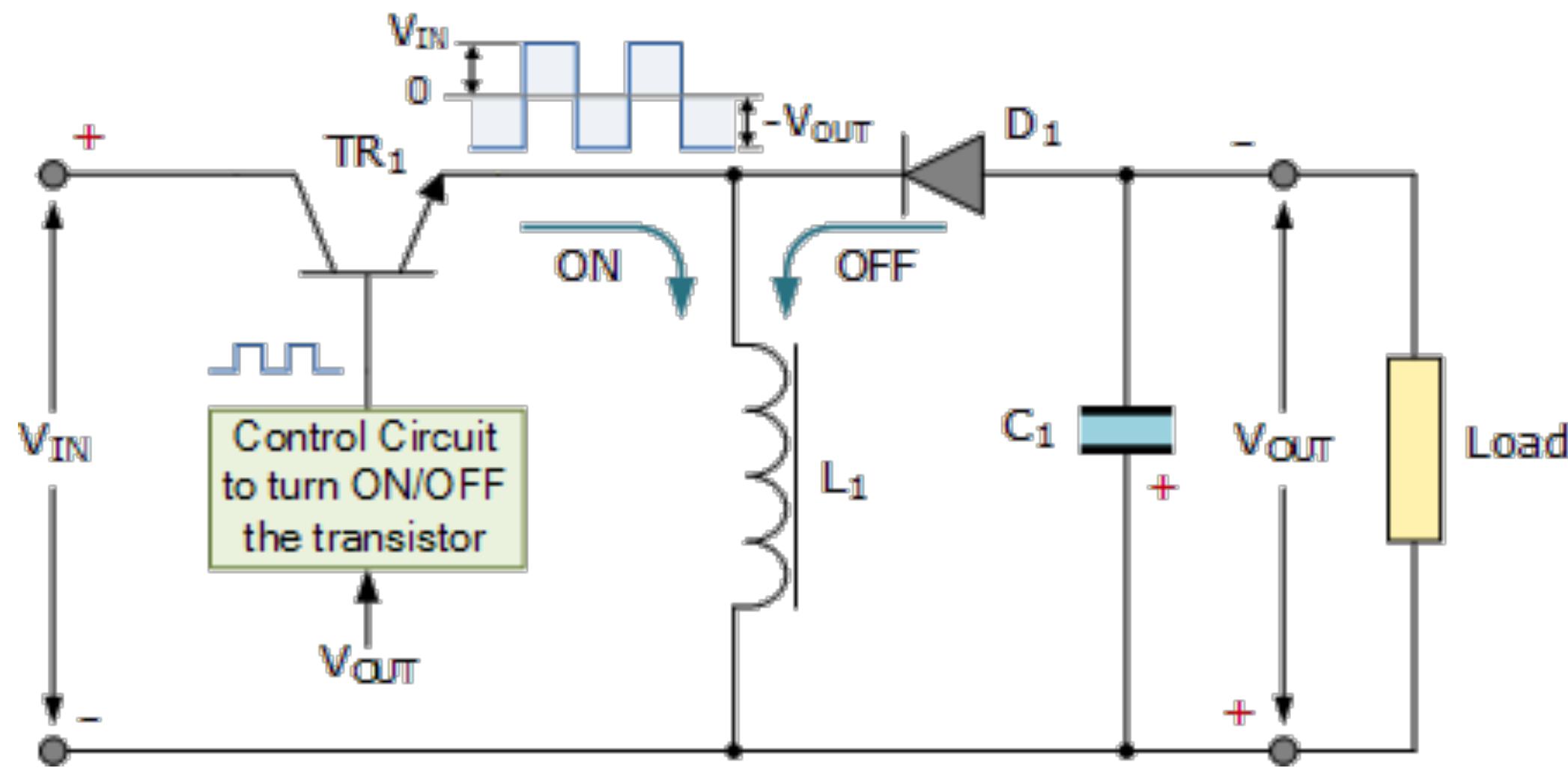


Thông số của diode:

$$V_D = V_i + |V_o|$$

$$I_D = \frac{I_o}{1-D} + \frac{\Delta I_L}{2}$$





$$V_o = - \frac{D}{1-D} \times V_i$$

Như vậy có thể sử dụng bộ biến đổi này để tạo ra được điện áp có giá trị tùy ý, cao hơn hoặc thấp hơn điện áp đầu vào nhưng **đảo chiều** so với đầu vào.

Bộ biến đổi Buck – Boost được sử dụng tương đối rộng rãi do có thể tùy biến độ lớn điện áp ra.

## Ví dụ 5

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

- +  $V_I = 28 \text{ V} \pm 4 \text{ V}$ ,
- +  $V_O = 12 \text{ V}$ ,
- +  $I_O = 1-10 \text{ A}$ ,
- +  $V_r/V_O \leq 1\%$ .  $V_O = 400 \text{ V}$ ;
- +  $I_{O(\max)} = 0,225 \text{ A}$ ;  $I_{O(\min)} = 5\% I_{O(\max)}$
- +  $V_r/V_O < 1\%$

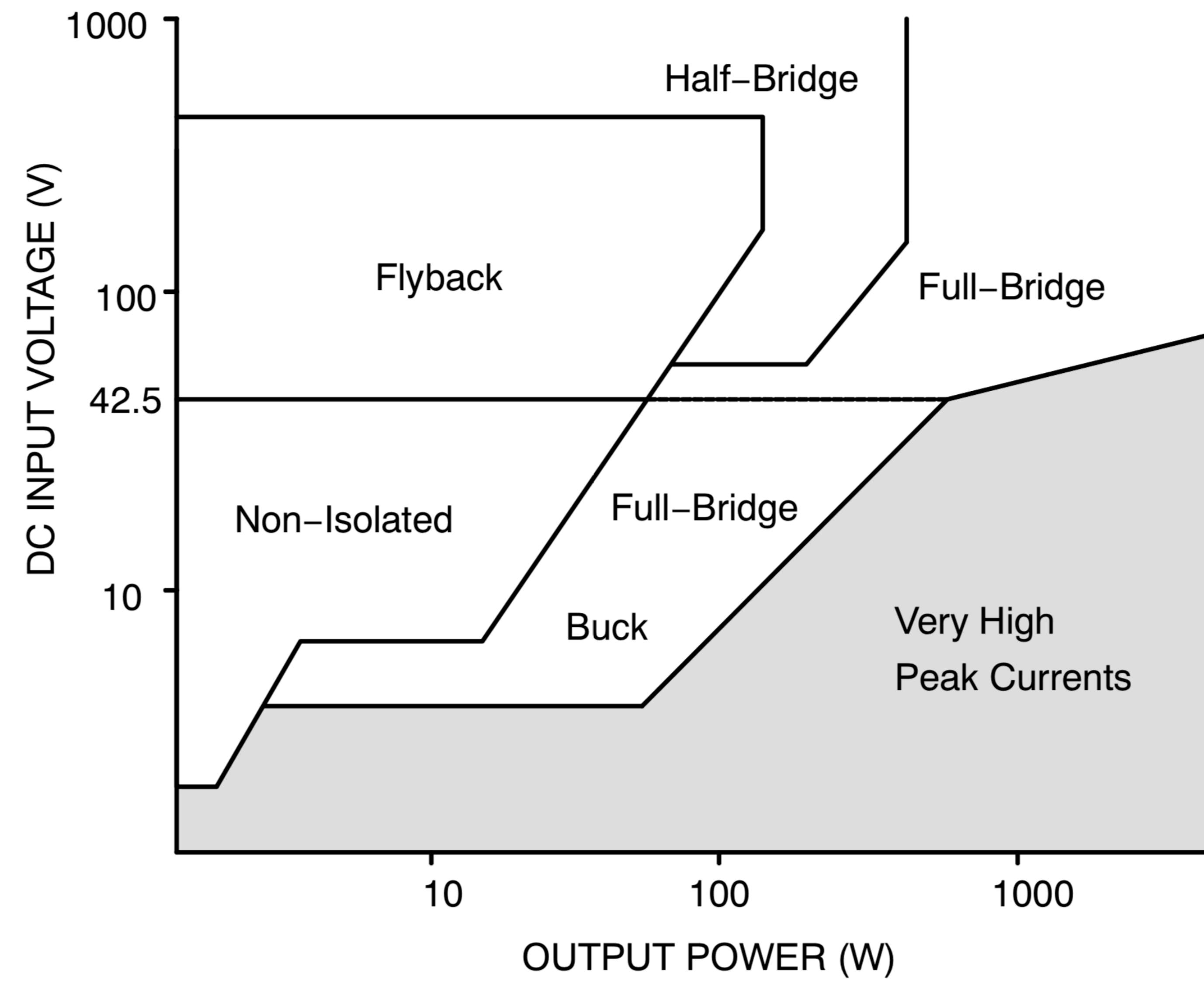


Một số sơ đồ mạch SMPS khác

**Có 5 yếu tố quan trọng để lựa chọn cấu trúc cho một ứng dụng cụ thể. Đó là:**

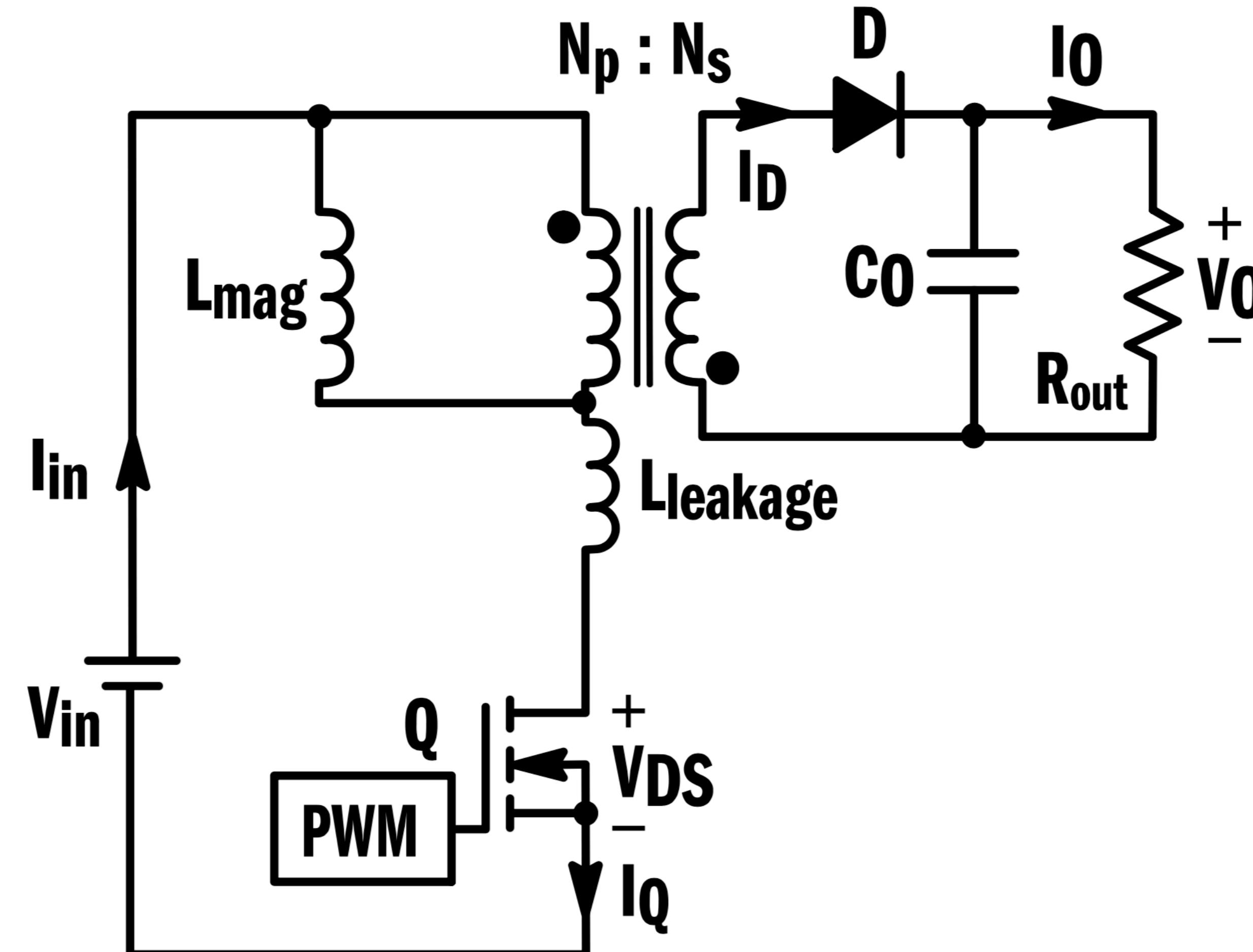
- 1. Ứng dụng có cần cách li đầu vào và đầu ra hay không ?**
- 2. Có yêu cầu nhiều đầu ra không?**
- 3. Phần tử công suất lớn có chịu điện áp lớn đáng kể trong cấu trúc đề xuất không?**
- 4. Phần tử công suất lớn có chịu dòng điện lớn đáng kể trong cấu trúc đề xuất không?**
- 5. Có bao nhiêu điện áp đầu vào đặt lên cuộn sơ cấp của biến áp hay cuộn dây ?**

# Phạm vi ứng dụng của các sơ đồ mạch SMPS



# Mạch flyback cách ly biến áp

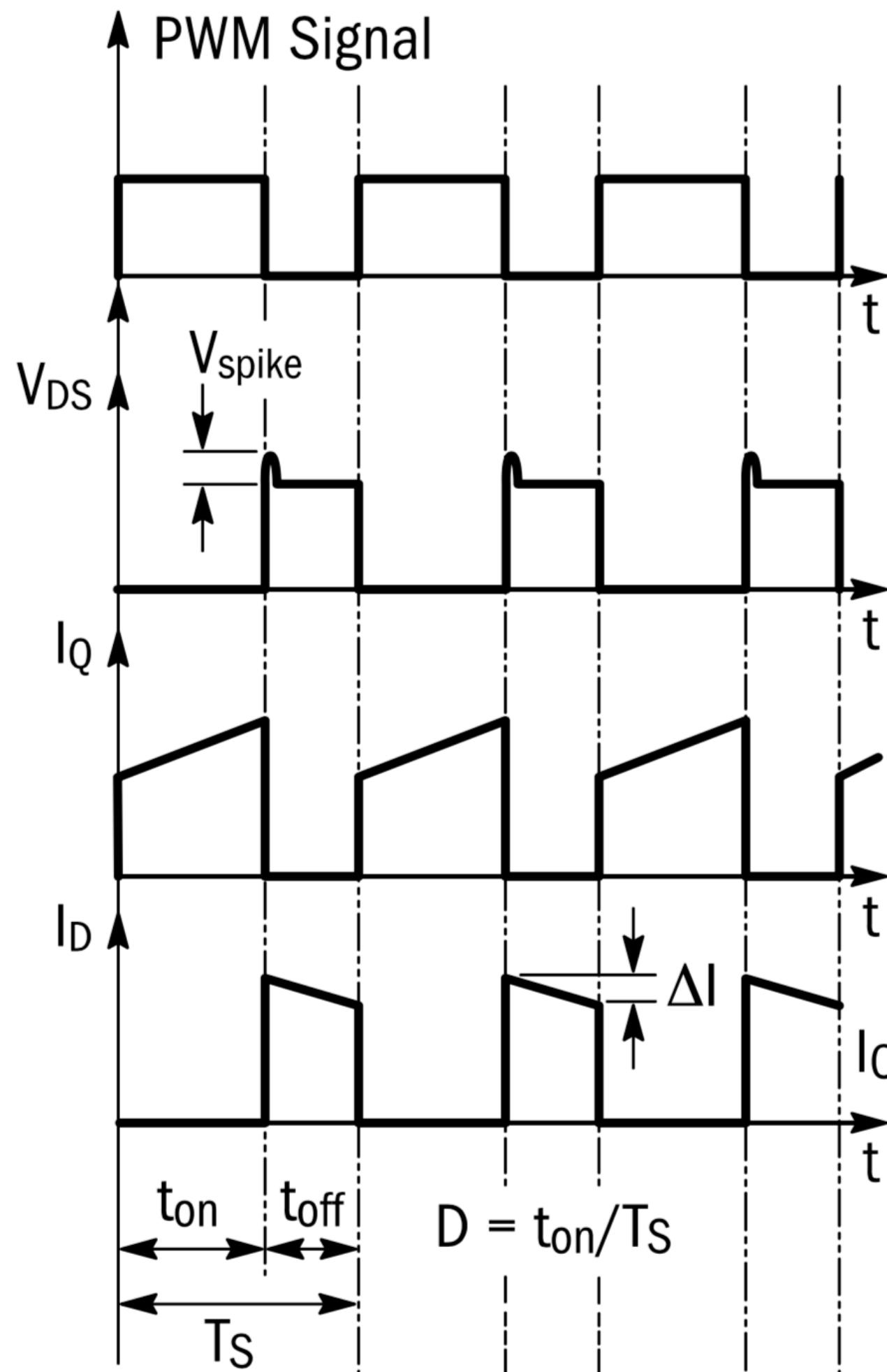
## Sơ đồ nguyên tắc của mạch flyback



< 150 W

# flyback converter

Tính toán cho mạch ở chế độ CCM



## CCM Input-Output Relationship

$$V_0 = \left(\frac{N_s}{N_p}\right) \left(\frac{D}{1-D}\right) V_{in}$$

## CCM Switch (Q) Ratings

$$\text{Drain Voltage, } V_{DS} = V_{in} + V_{out} \left(\frac{N_p}{N_s}\right) + V_{spike}$$

$$\text{Peak Current, } I_Q = \left(\frac{N_s}{N_p}\right) \left(\frac{I_0}{(1-D)} + \frac{\Delta I}{2}\right)$$

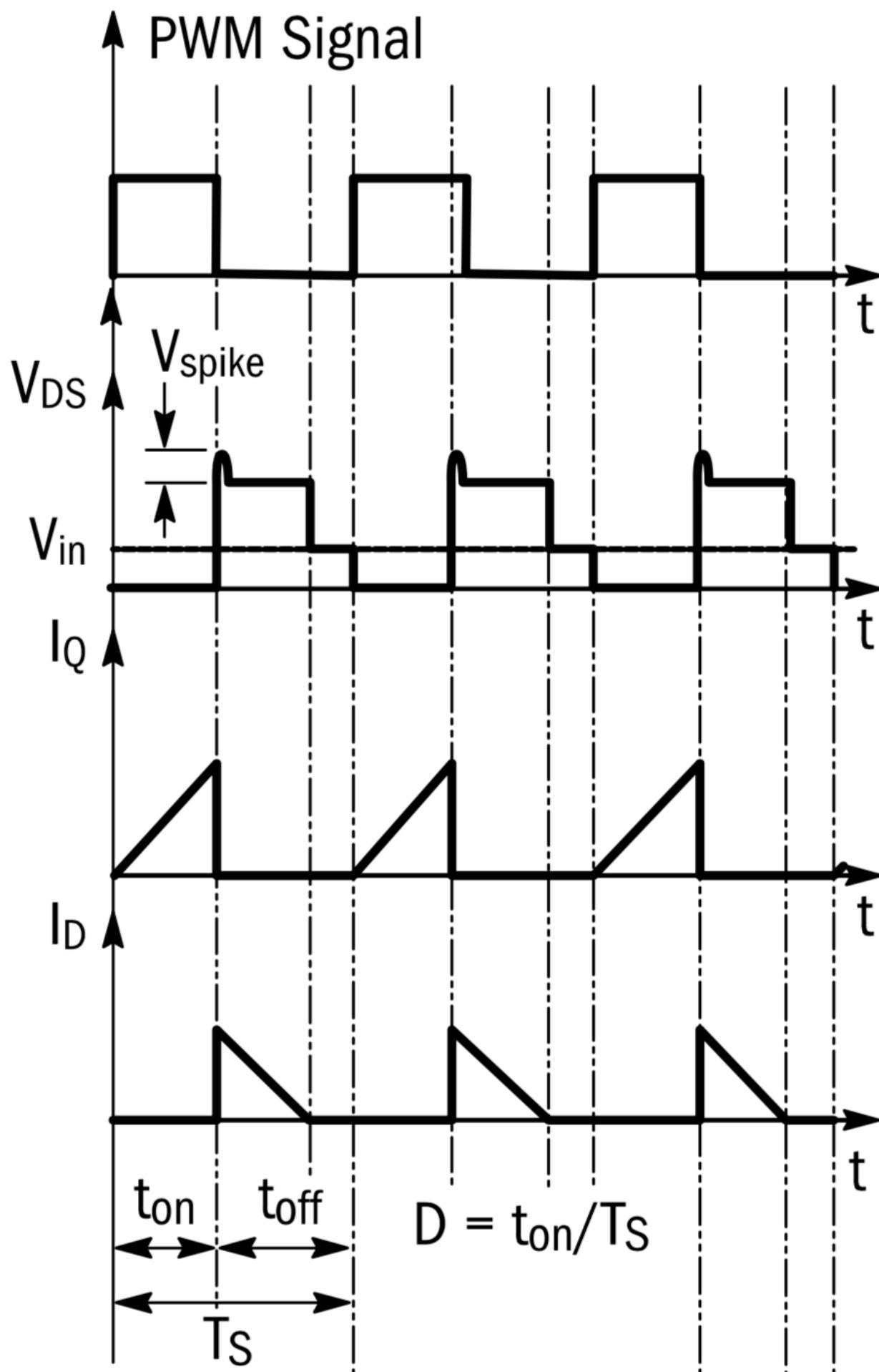
## CCM Diode Ratings

$$\text{Voltage} = V_0 + \left(\frac{N_s}{N_p}\right) V_{in}$$

$$\text{Peak Current, } I_D = \frac{I_0}{(1-D)} + \frac{\Delta I}{2}$$

# flyback converter

Tính toán cho mạch ở chế độ DCM



## DCM Input-Output Relationship

$$V_0 = \left(\frac{N_s}{N_p}\right)D \sqrt{\frac{R_{out} T_s}{2L_{mag}}}$$

## DCM Switch (Q) Ratings

$$\text{Drain Voltage, } V_{DS} = V_{in} + V_{out} \left(\frac{N_p}{N_s}\right) + V_{spike}$$

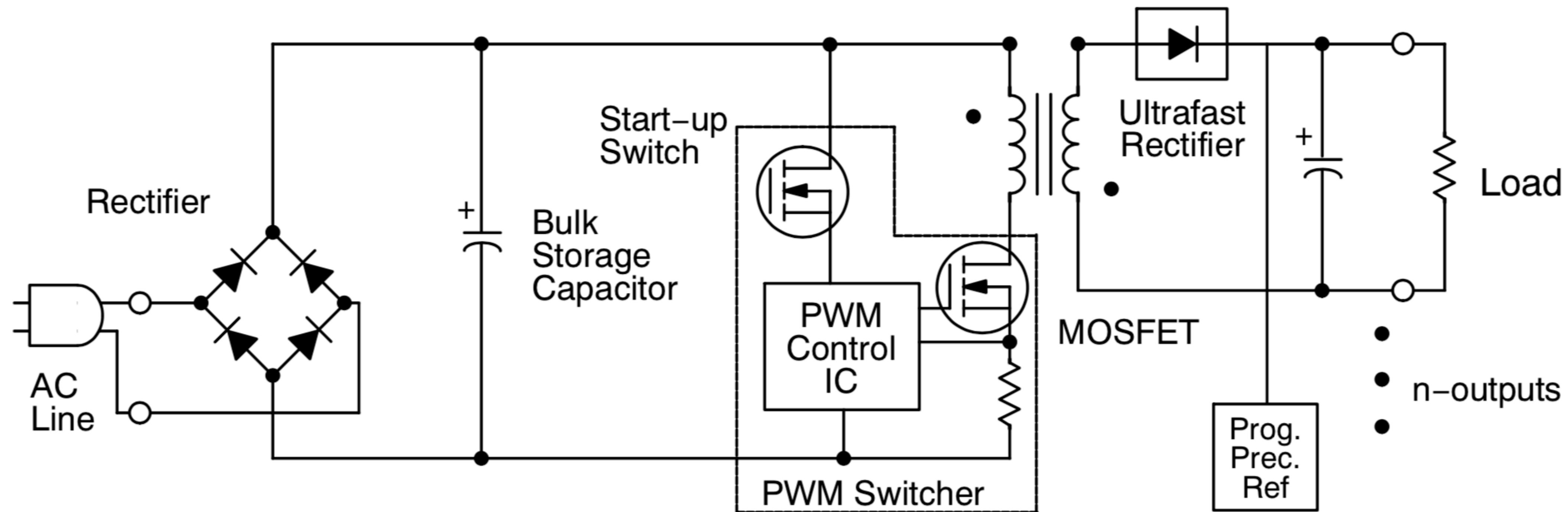
$$\text{Peak Current, } I_Q = \frac{V_{in} t_{on}}{L_{mag}}$$

## DCM Diode Ratings

$$\text{Voltage} = V_0 + \left(\frac{N_s}{N_p}\right)V_{in}$$

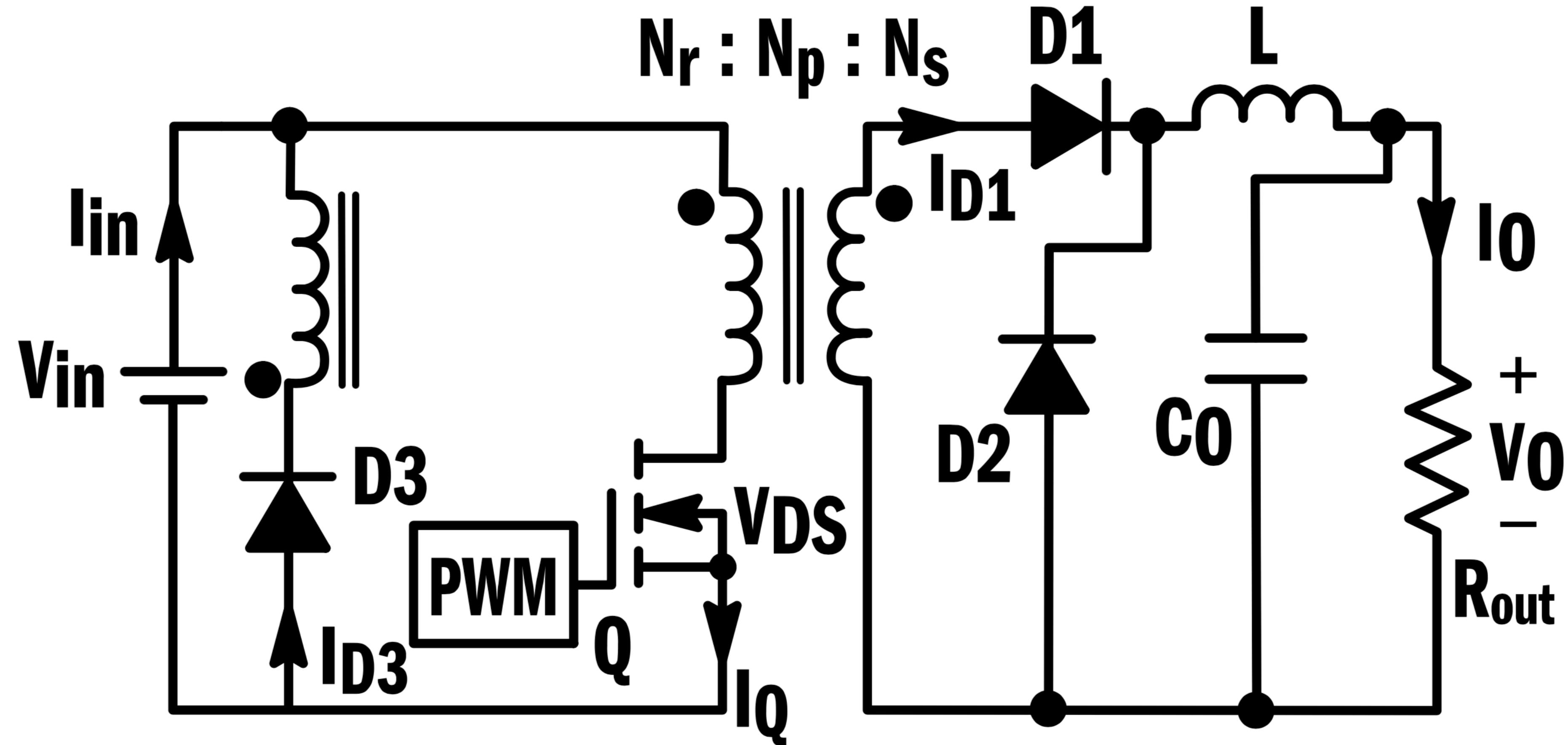
$$\text{Peak Current, } I_D = \left(\frac{V_{in} t_{on}}{L_{mag}}\right) \left(\frac{N_p}{N_s}\right)$$

## Up to 25 W Flyback Switch-Mode Power Supply



# Mạch forward

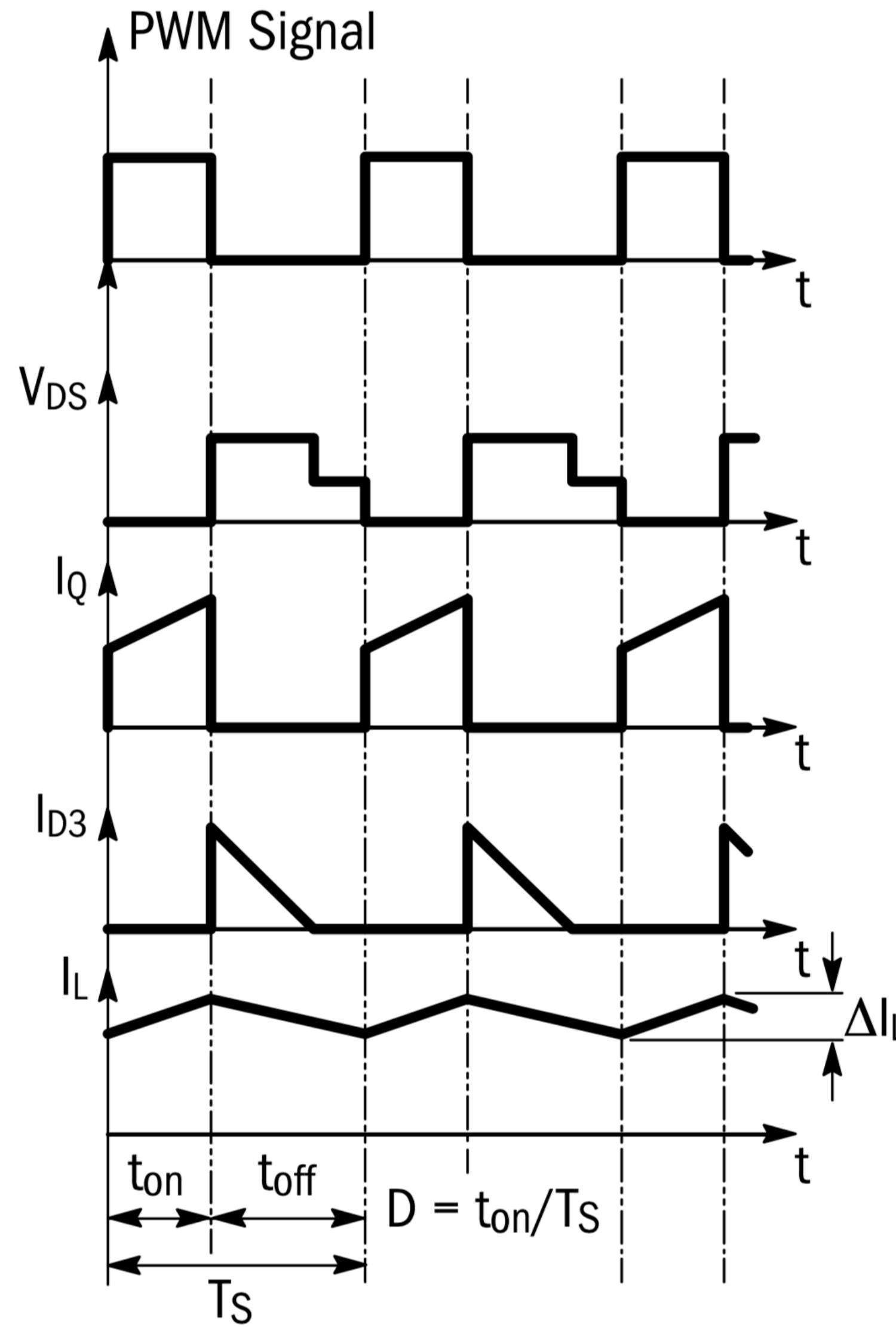
Sơ đồ nguyên tắc của mạch forward



150 W - 400 W

# Forward converter

Tính toán thông số cho mạch



## Input-Output Relationship

$$V_0 = \left( \frac{N_s}{N_p} \right) D V_{in}$$

## Switch (Q) Ratings

$$\text{Drain Voltage, } V_{DS} = V_{in} \left( 1 + \frac{N_p}{N_r} \right)$$

$$\text{Peak Current, } I_Q = \left( I_0 + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \left( \frac{N_s}{N_p} \right)$$

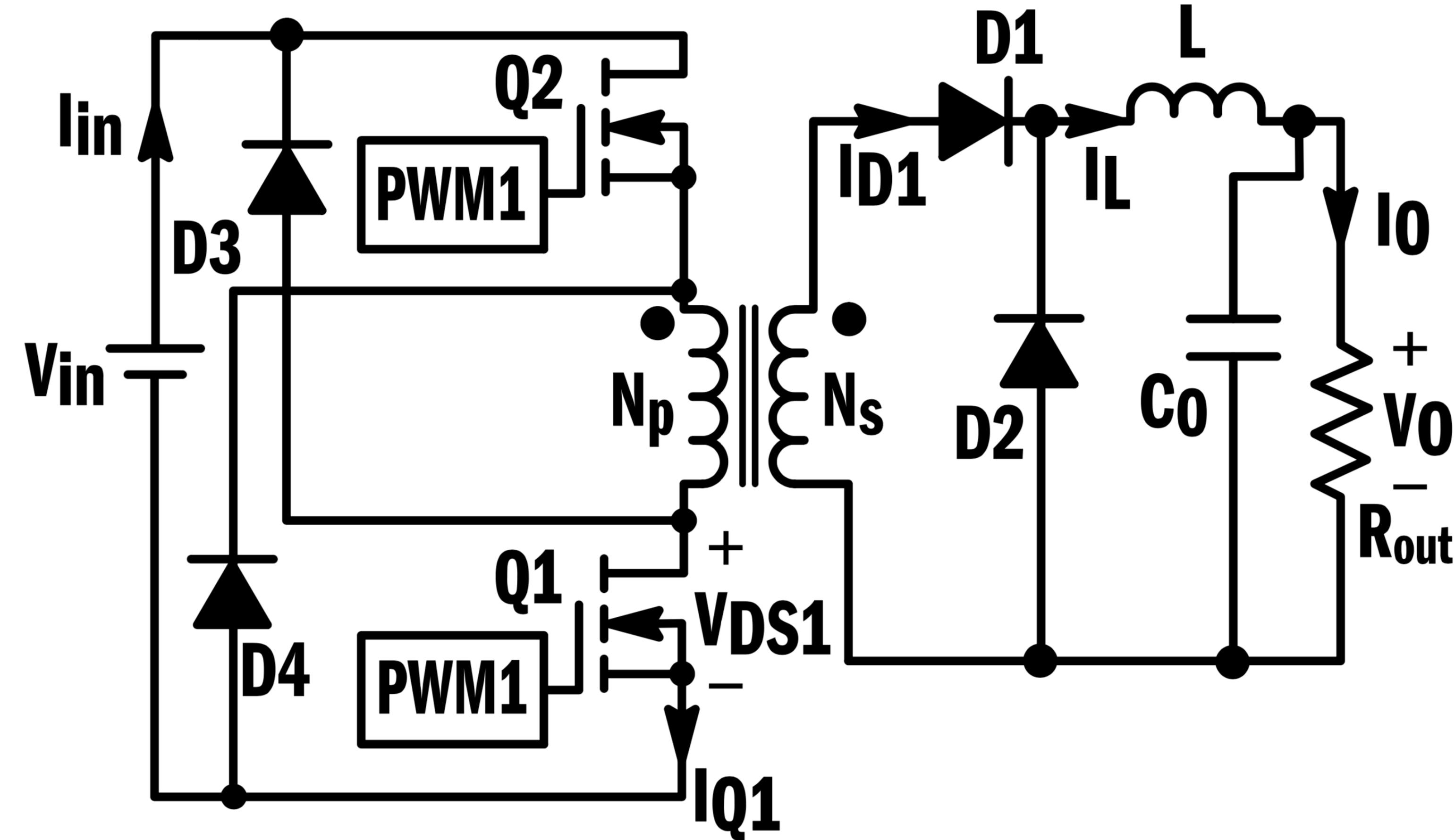
## Diode Ratings

$$\text{Voltage} = V_{D1} = V_{D2} = V_{in} \left( \frac{N_s}{N_p} \right)$$

$$\text{Peak Current, } I_{D1} = I_{D2} = I_0 + \frac{\Delta I_L}{2}$$

# Mạch hai khóa chuyển mạch

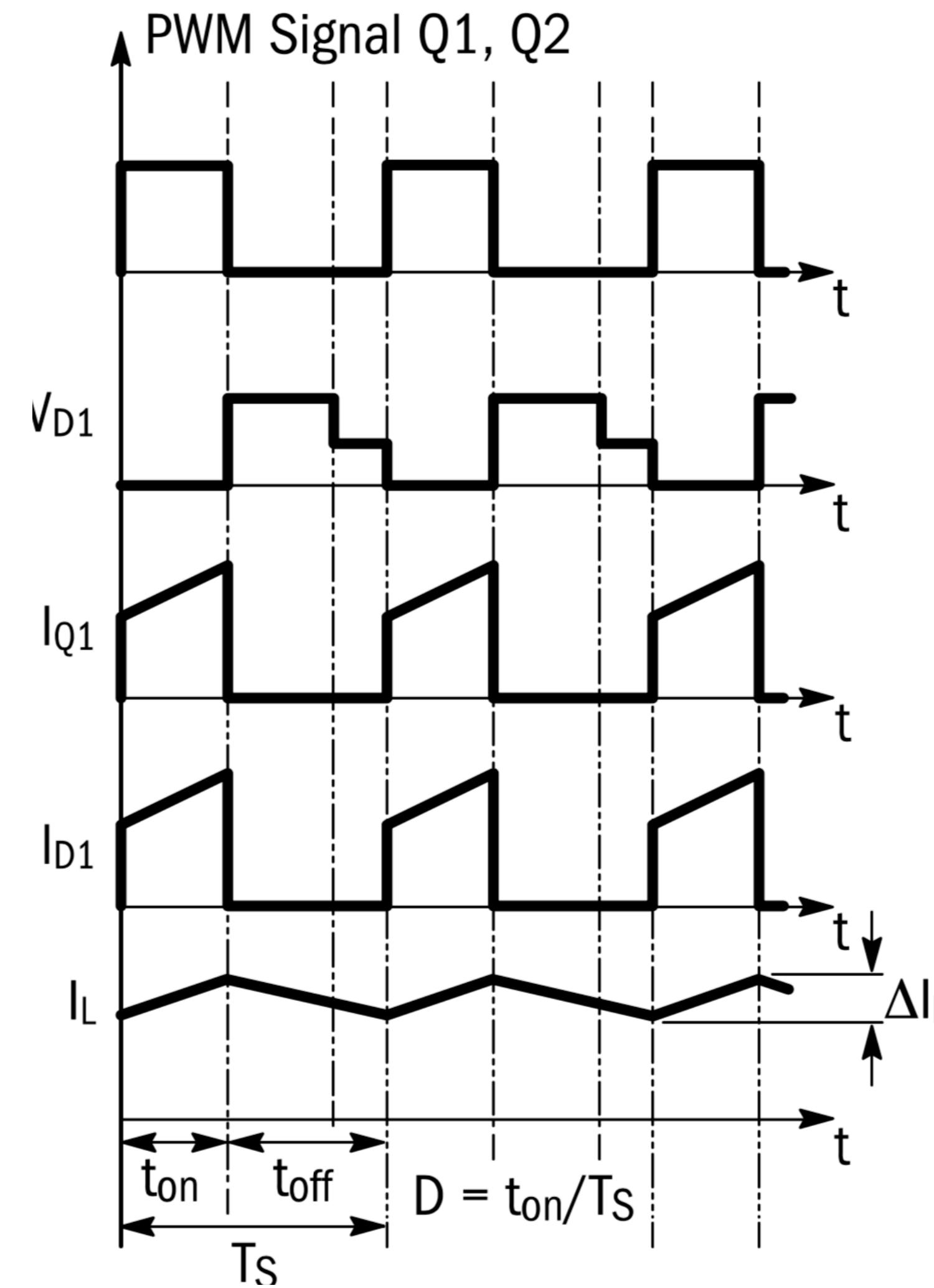
Sơ đồ nguyên tắc của mạch hai khóa chuyển mạch



> 500 W

# Two switch converter

Tính toán thông số cho mạch



## Input-Output Relationship

$$V_0 = \left( \frac{N_s}{N_p} \right) DV_{in}$$

## Switch (Q) Ratings

Drain Voltage,  $V_{DS1} = V_{in}$

Peak Current,  $I_Q = \left( I_0 + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \left( \frac{N_s}{N_p} \right)$

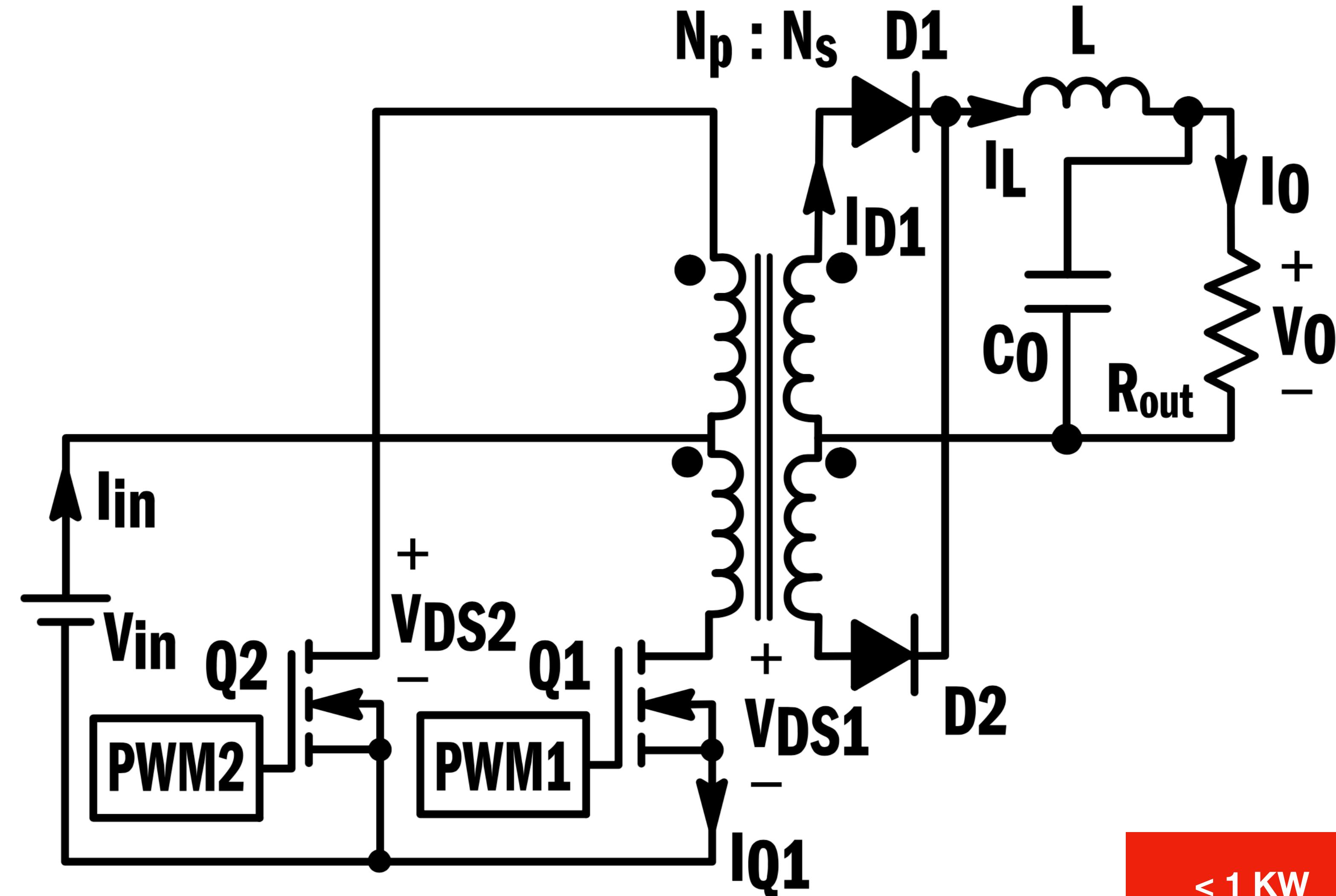
## Diode Ratings

Voltage =  $V_{D1} = \left( \frac{N_s}{N_p} \right) V_{in}$

Peak Current,  $I_{D1} = I_{D2} = I_0 + \frac{\Delta I_L}{2}$

# Mạch đẩy kéo

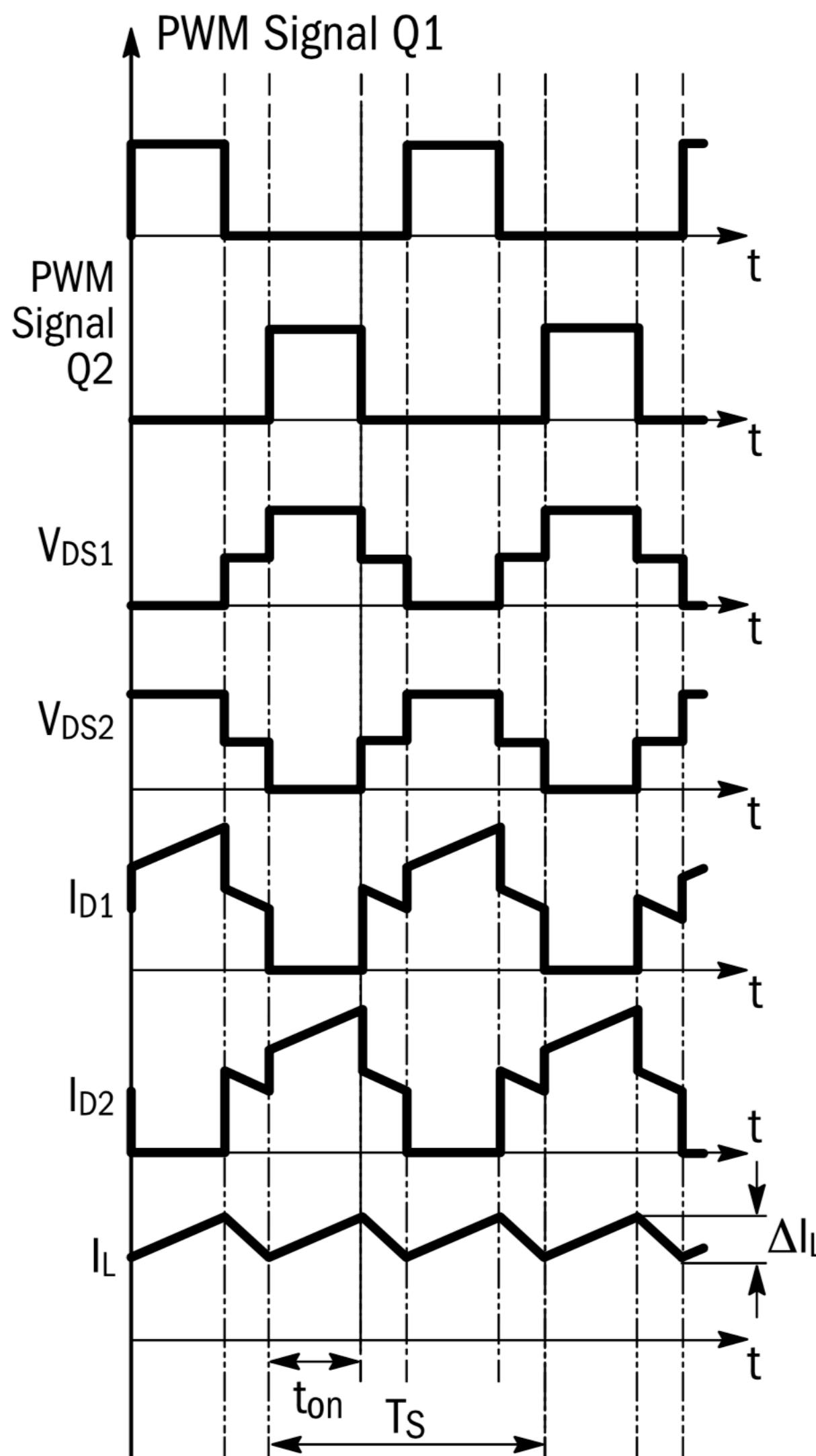
Sơ đồ nguyên tắc của mạch SMPS đẩy kéo



< 1 KW

# push-pull converter

Tính toán thông số cho mạch



## Input-Output Relationship

$$V_o = 2 \left( \frac{N_s}{N_p} \right) DV_{in}$$

## Switch (Q) Ratings

$$\text{Drain Voltage, } V_{DS1} = 2V_{in}$$

$$\text{Peak Current, } I_{Q1} = I_{Q2} = \left( \frac{N_s}{N_p} \right) \left( I_0 + \frac{\Delta I_L}{2} \right)$$

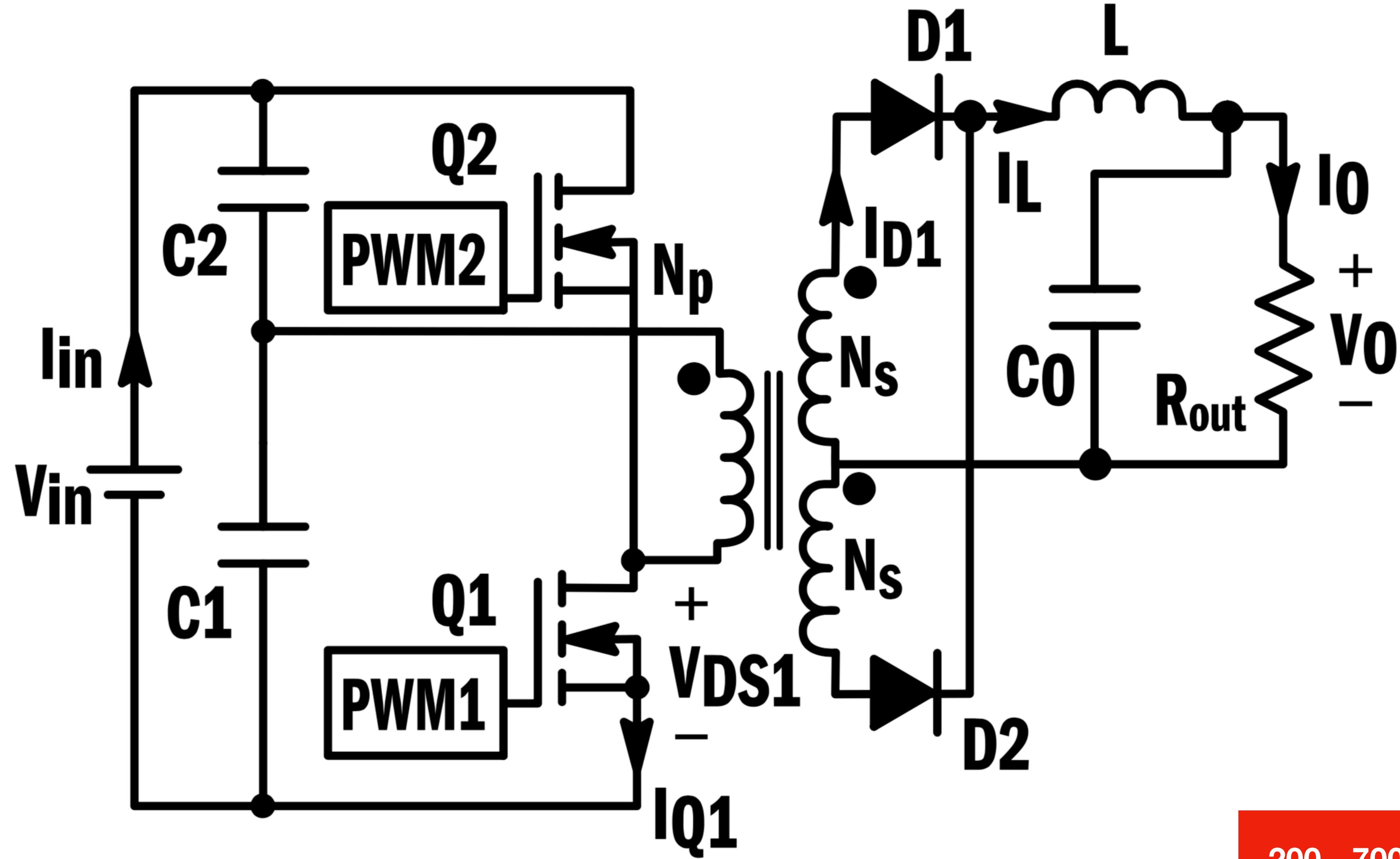
## Diode Ratings

$$\text{Voltage} = V_{D1} = V_{D2} = \left( \frac{2 V_{in} N_s}{N_p} \right)$$

$$\text{Peak Current, } I_{D1} = I_{D2} = I_0 + \frac{\Delta I_L}{2}$$

# Mạch nửa cầu

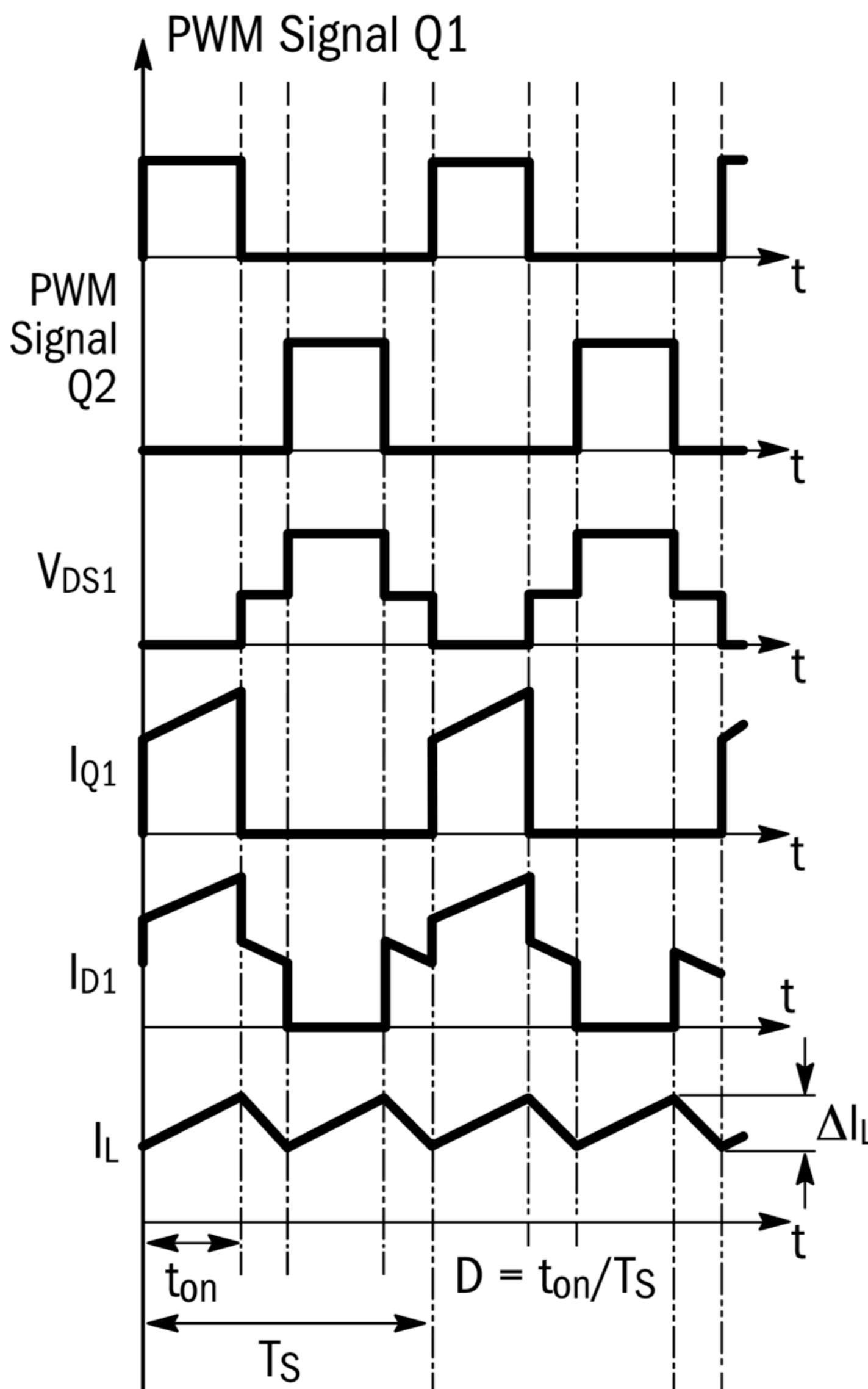
Sơ đồ nguyên tắc của mạch nửa cầu



200 - 700 W

# Half-bridge converter

Tính toán thông số cho mạch



## Input-Output Relationship

$$V_0 = \left(\frac{N_s}{N_p}\right) D \left(\frac{V_{in}}{2}\right)$$

## Switch (Q) Ratings

$$\text{Drain Voltage, } V_{DS1} = V_{in}$$

$$\text{Peak Current, } I_Q = \left(\frac{N_s}{N_p}\right) \left(I_0 + \frac{\Delta I_L}{2}\right)$$

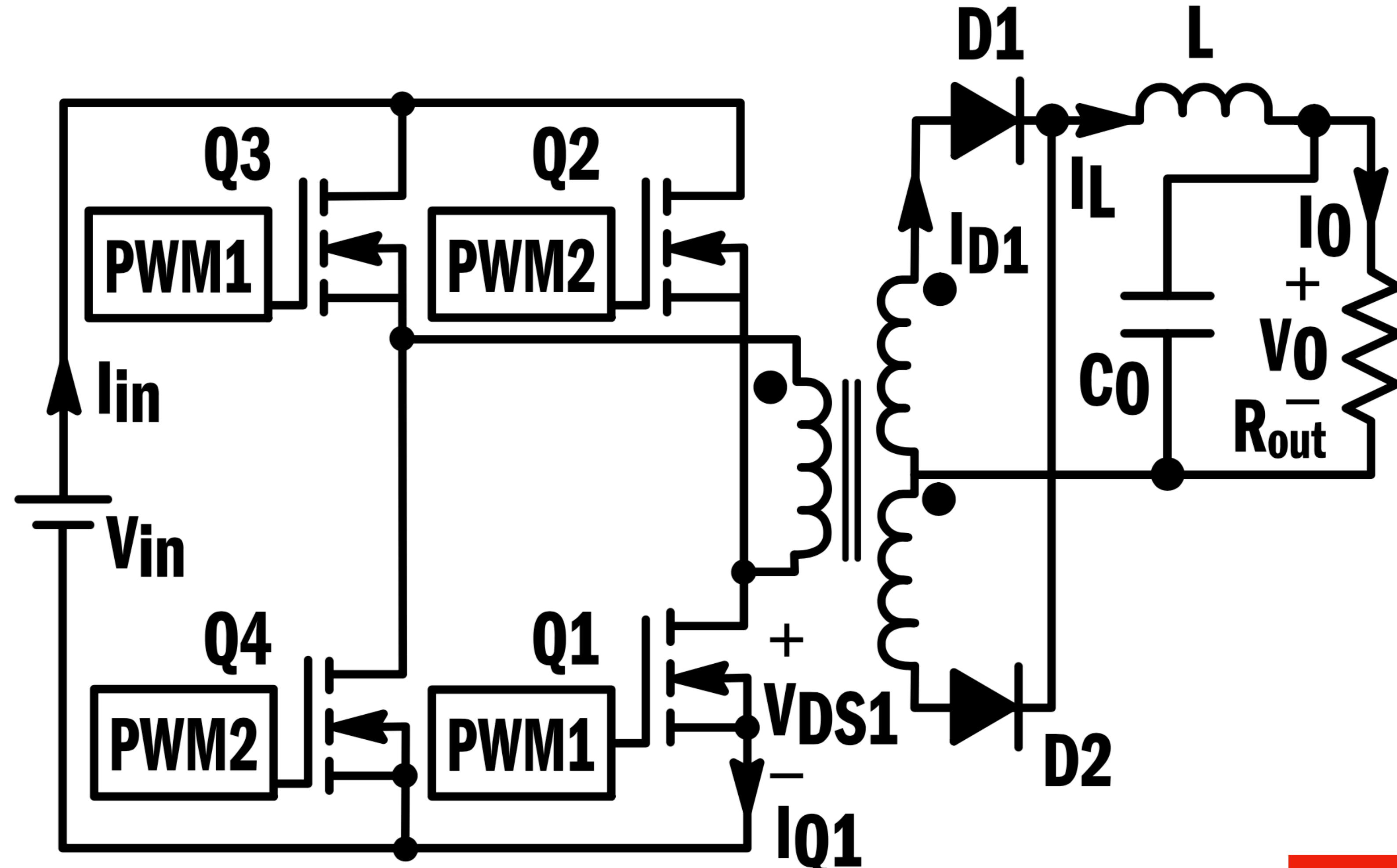
## Diode Ratings

$$\text{Voltage} = V_{D1} = V_{D2} = \left(\frac{V_{in}}{2}\right) \left(\frac{N_s}{N_p}\right)$$

$$\text{Peak Current, } I_{D1} = I_{D2} = I_0 + \frac{\Delta I_L}{2}$$

# Mạch cầu

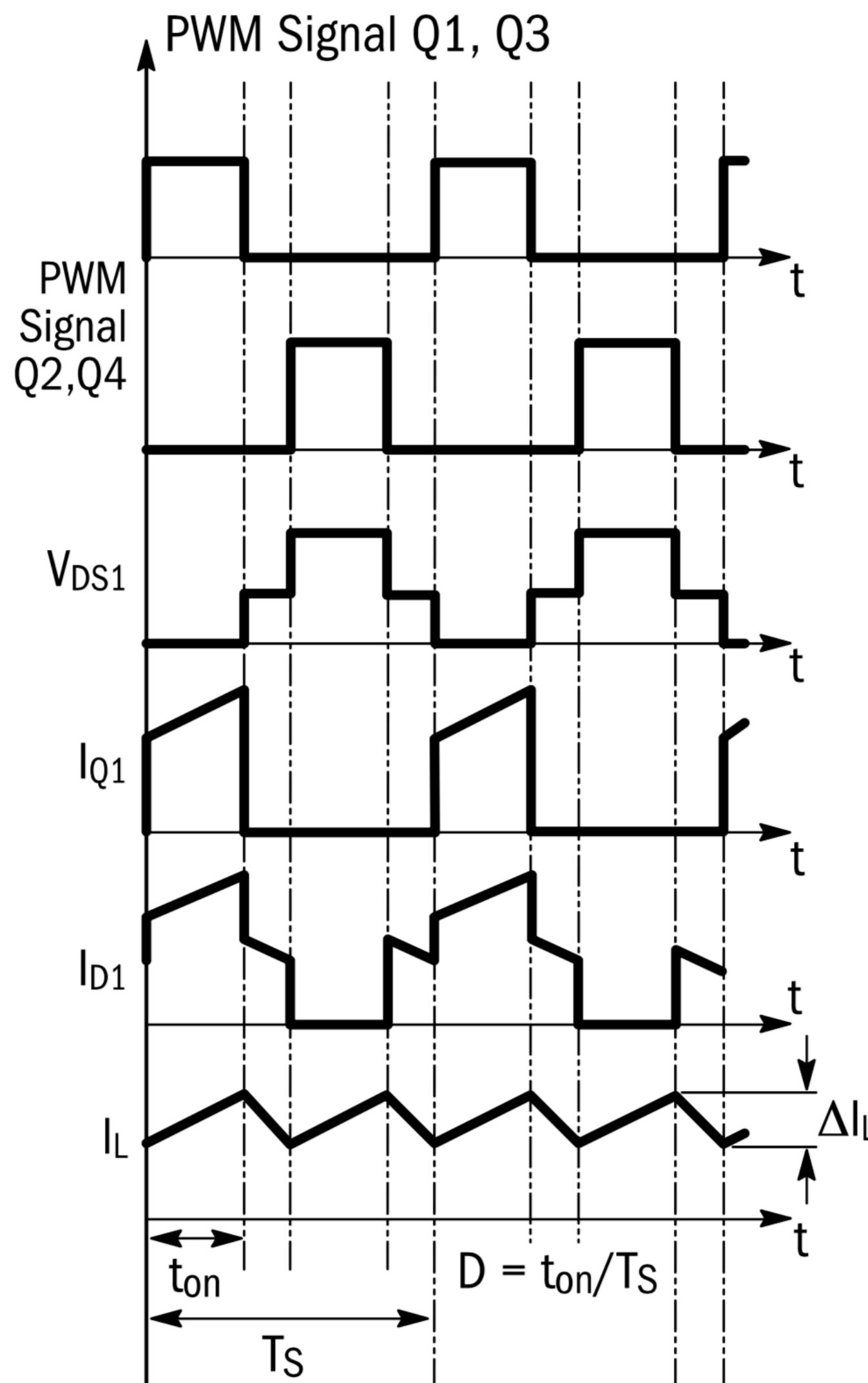
## Sơ đồ nguyên tắc của mạch cầu



< 1 KW

# full-bridge converter

Tính toán thông số cho mạch



## Input-Output Relationship

$$V_o = \left( \frac{N_s}{N_p} \right) DV_{in}$$

## Switch (Q) Ratings

Drain Voltage,  $V_{DS1} = V_{in}$

$$\text{Peak Current, } I_Q = \left( \frac{N_s}{N_p} \right) \left( I_0 + \frac{\Delta I_L}{2} \right)$$

## Diode Ratings

$$\text{Voltage} = V_{D1} = V_{D2} = \left( \frac{V_{in}}{2} \right) \left( \frac{N_s}{N_p} \right)$$

$$\text{Peak Current, } I_{D1} = I_{D2} = I_0 + \frac{\Delta I_L}{2}$$

## Bảng ước tính các thông số quan trọng của chuyển mạch công suất trong mạch DC/DC

Topology	Bipolar Pwr Sw		MOSFET Pwr Sw		Rectifier	
	V <sub>CEO</sub>	I <sub>C</sub>	V <sub>DSS</sub>	I <sub>D</sub>	V <sub>R</sub>	I <sub>F</sub>
Buck	V <sub>in</sub>	I <sub>out</sub>	V <sub>in</sub>	I <sub>out</sub>	V <sub>in</sub>	I <sub>out</sub>
Boost	V <sub>out</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	V <sub>out</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	V <sub>out</sub>	I <sub>out</sub>
Buck/Boost	V <sub>in</sub> – V <sub>out</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	V <sub>in</sub> – V <sub>out</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	V <sub>in</sub> – V <sub>out</sub>	I <sub>out</sub>
Flyback	1.7 V <sub>in(max)</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	1.5 V <sub>in(max)</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	5.0 V <sub>out</sub>	I <sub>out</sub>
1 Transistor Forward	2.0 V <sub>in</sub>	$\frac{(1.5 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	2.0 V <sub>in</sub>	$\frac{(1.5 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	3.0 V <sub>out</sub>	I <sub>out</sub>
Push–Pull	2.0 V <sub>in</sub>	$\frac{(1.2 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	2.0 V <sub>in</sub>	$\frac{(1.2 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	2.0 V <sub>out</sub>	I <sub>out</sub>
Half–Bridge	V <sub>in</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	V <sub>in</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	2.0 V <sub>out</sub>	I <sub>out</sub>
Full–Bridge	V <sub>in</sub>	$\frac{(1.2 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	V <sub>in</sub>	$\frac{(2.0 \text{ P}_{\text{out}})}{V_{\text{in(min)}}}$	2.0 V <sub>out</sub>	I <sub>out</sub>



# Bài tập lớn

**Thiết kế một mạch nguồn chuyển mạch có ứng dụng cụ thể**



Hết phần 2