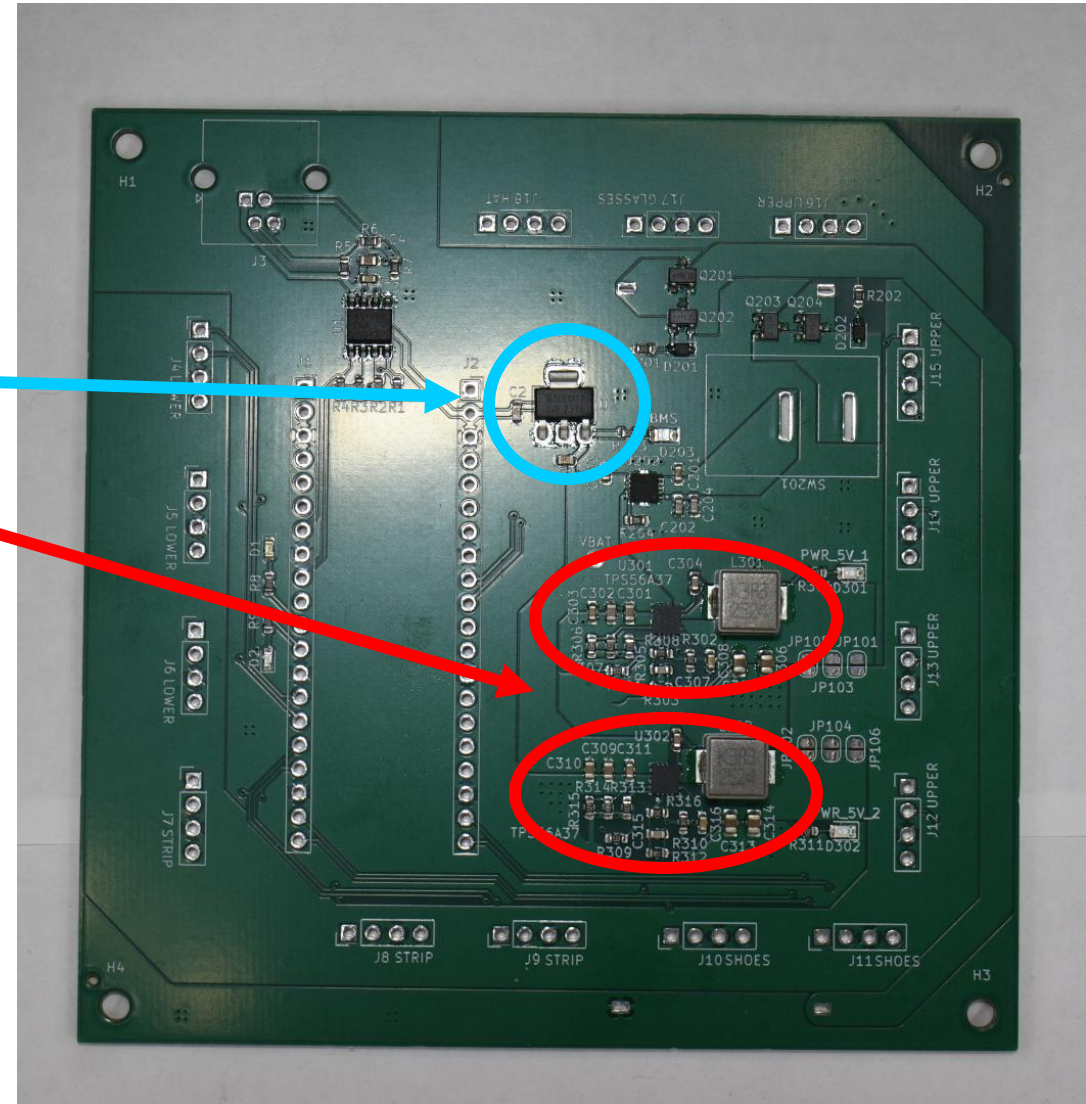


Voltage Regulators

電機 26 級 陳亮宇

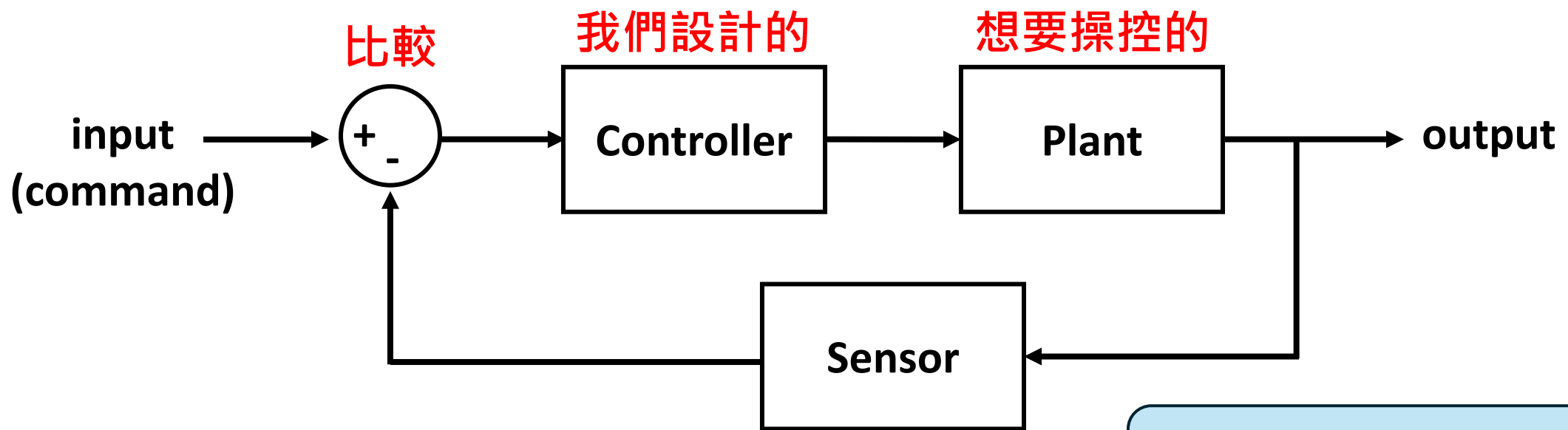
Outline

- Feedback Control
- Linear Voltage Regulator
- Switch Mode Power Supply
- Comparison



回授控制 Feedback Control

- 比較 output 跟 input，決定要給什麼訊號去操控 plant

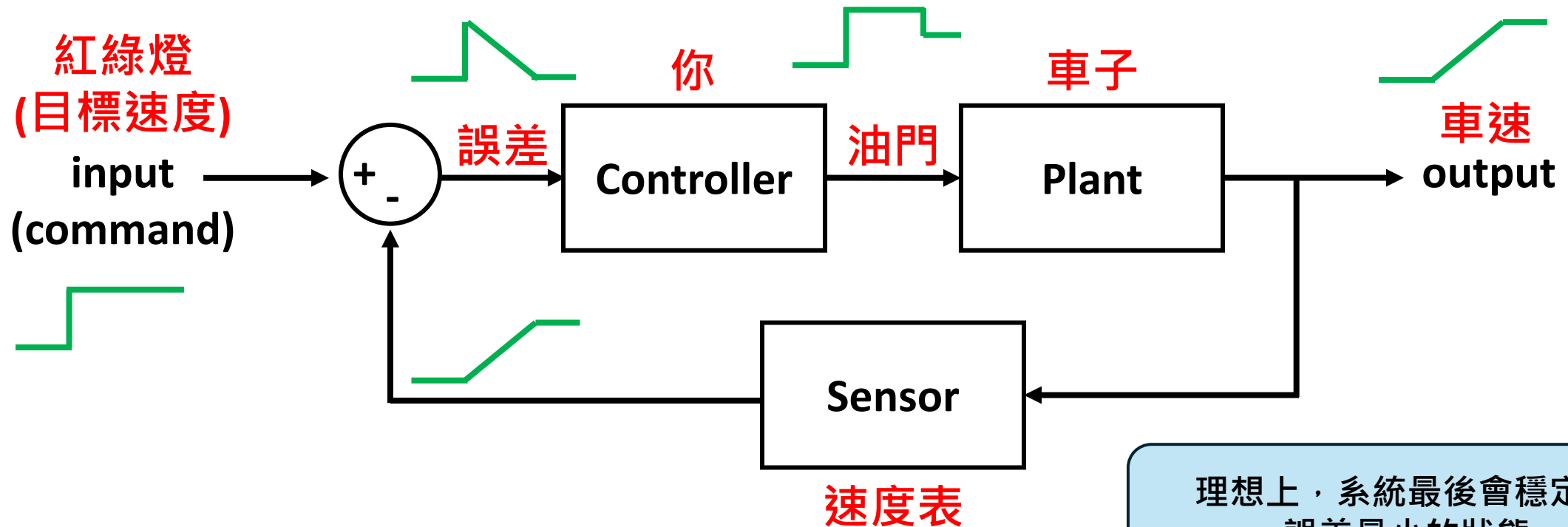


詳情請見 EE3510 控制系統

回授控制 Feedback Control

Plant 可能有誤差、外界干擾等，
或是無法用簡單的數學模型描述

所以只好透過 feedback 來想辦法
讓 output 追上 input 的指令

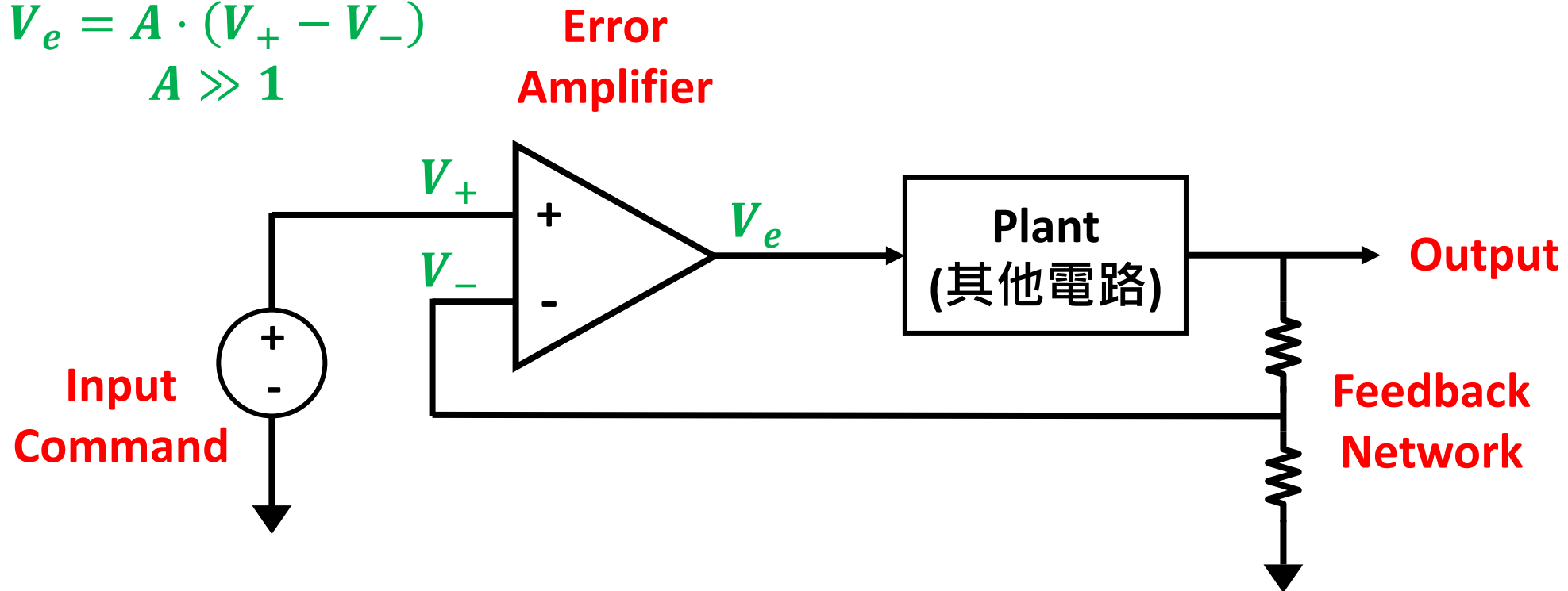


理想上，系統最後會穩定在
誤差最小的狀態

電路的回授控制

$$V_e = A \cdot (V_+ - V_-)$$

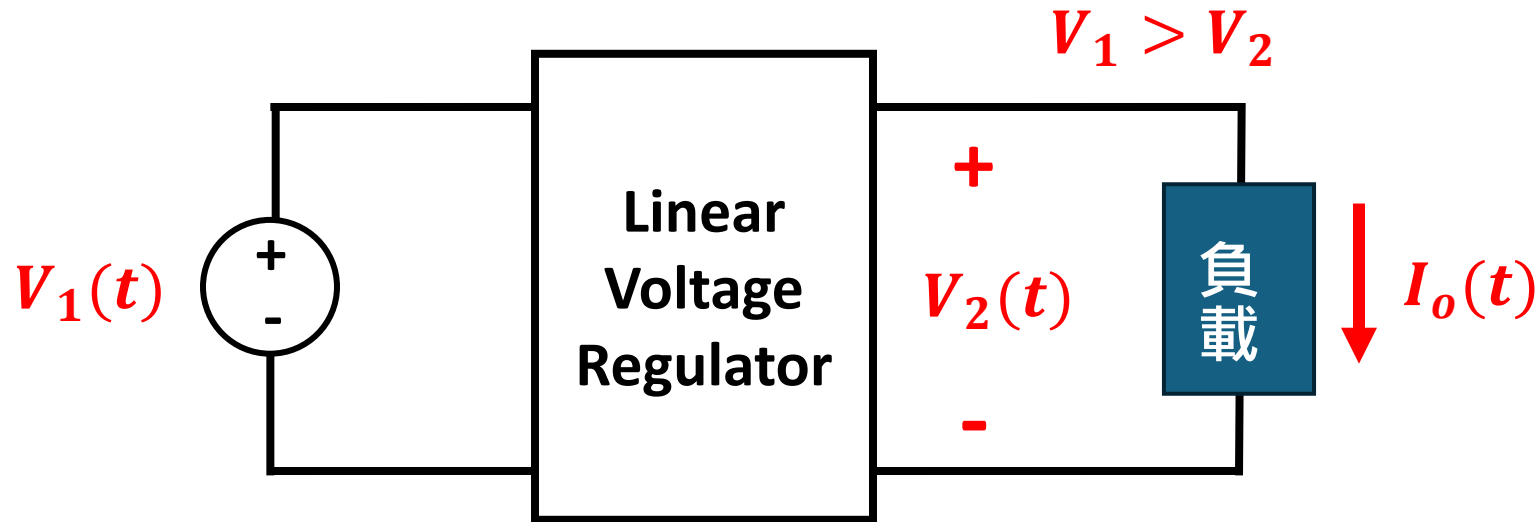
$A \gg 1$



線性穩壓器 Linear Voltage Regulator

目標

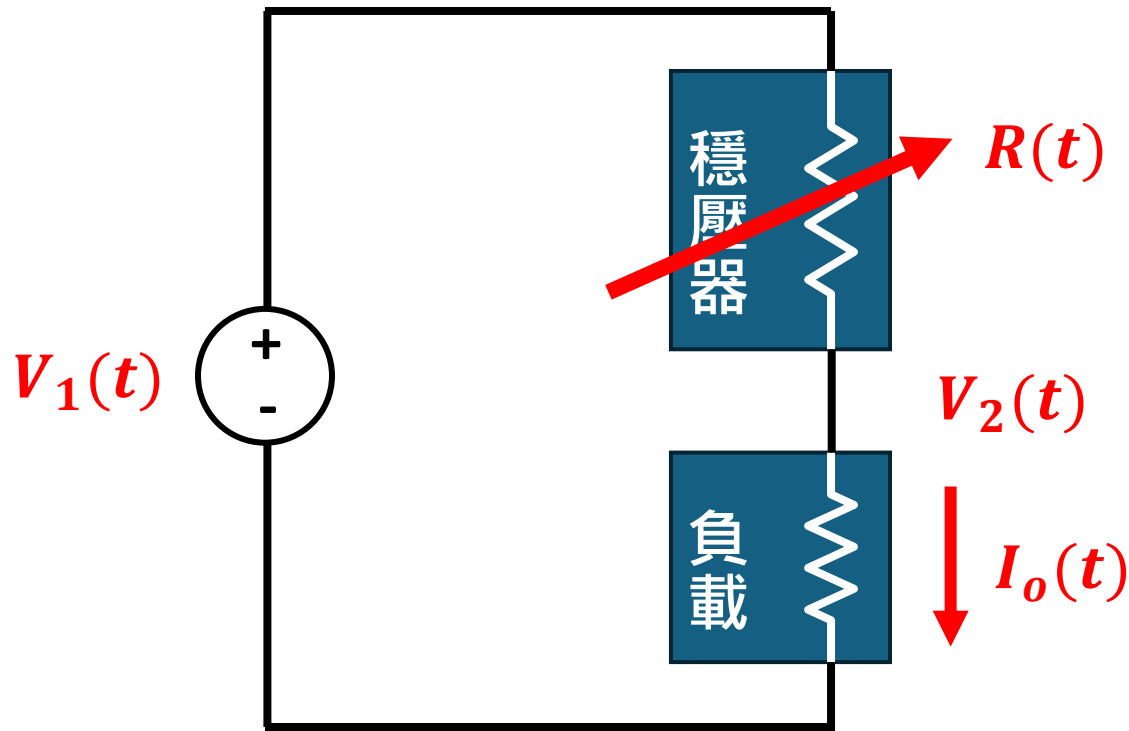
1. 把一個確定或不確定的電壓，降壓變成另一個確定的電壓
2. 確保輸出電壓在負載改變的時候維持穩定



$V_1(t)$ 變動的時候 $V_2(t)$ 維持不變

$I_o(t)$ 變動的時候 $V_2(t)$ 維持不變

線性穩壓器 Linear Voltage Regulator

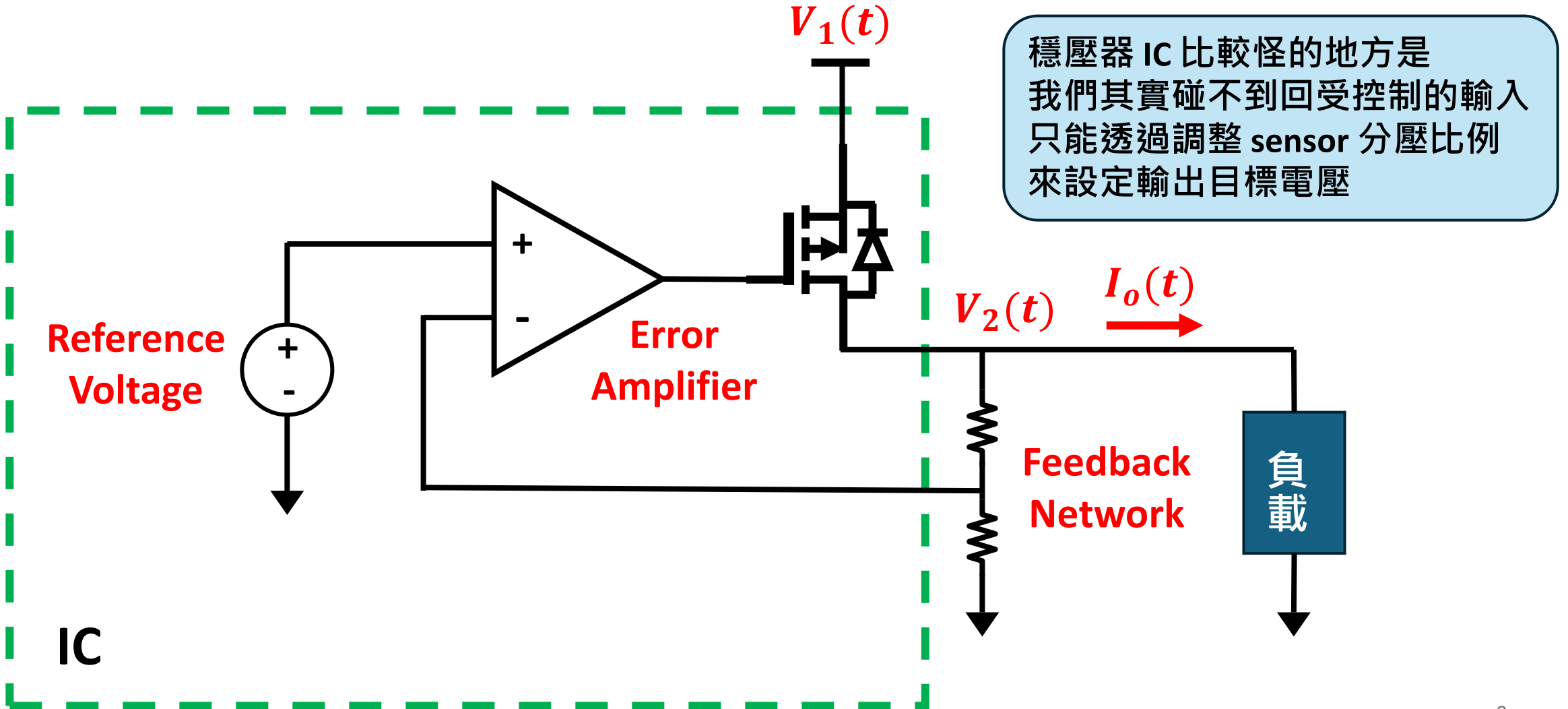


$$V_2(t) = V_1(t) - I_o(t)R(t)$$

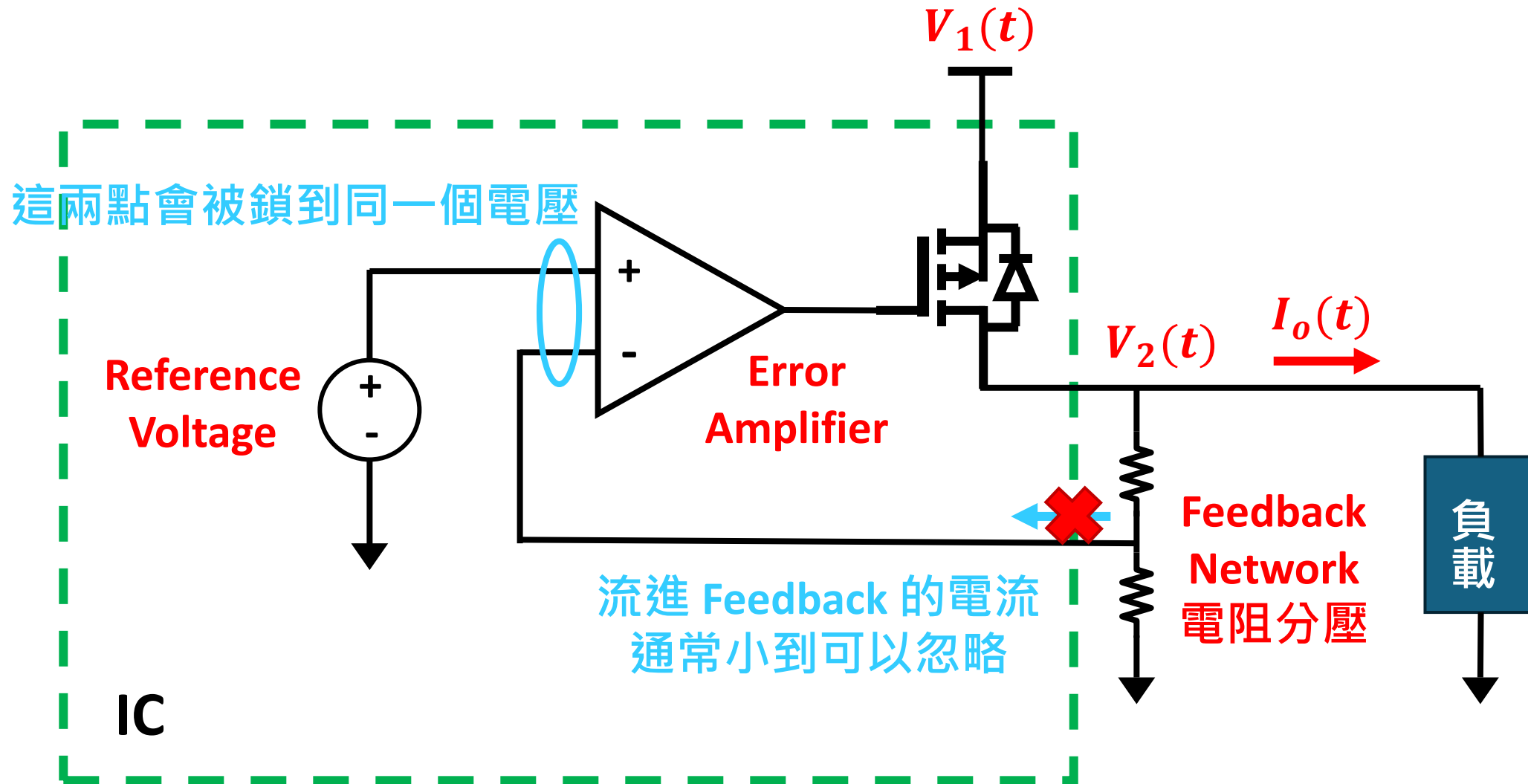
穩壓器 IC 會去偵測輸出電壓 V_2 ，然後去調控 R ，把輸出電壓控制在目標的電壓上

線性穩壓器 IC 會把多出來的電壓以電阻消耗掉，如果電流大的話會很燙

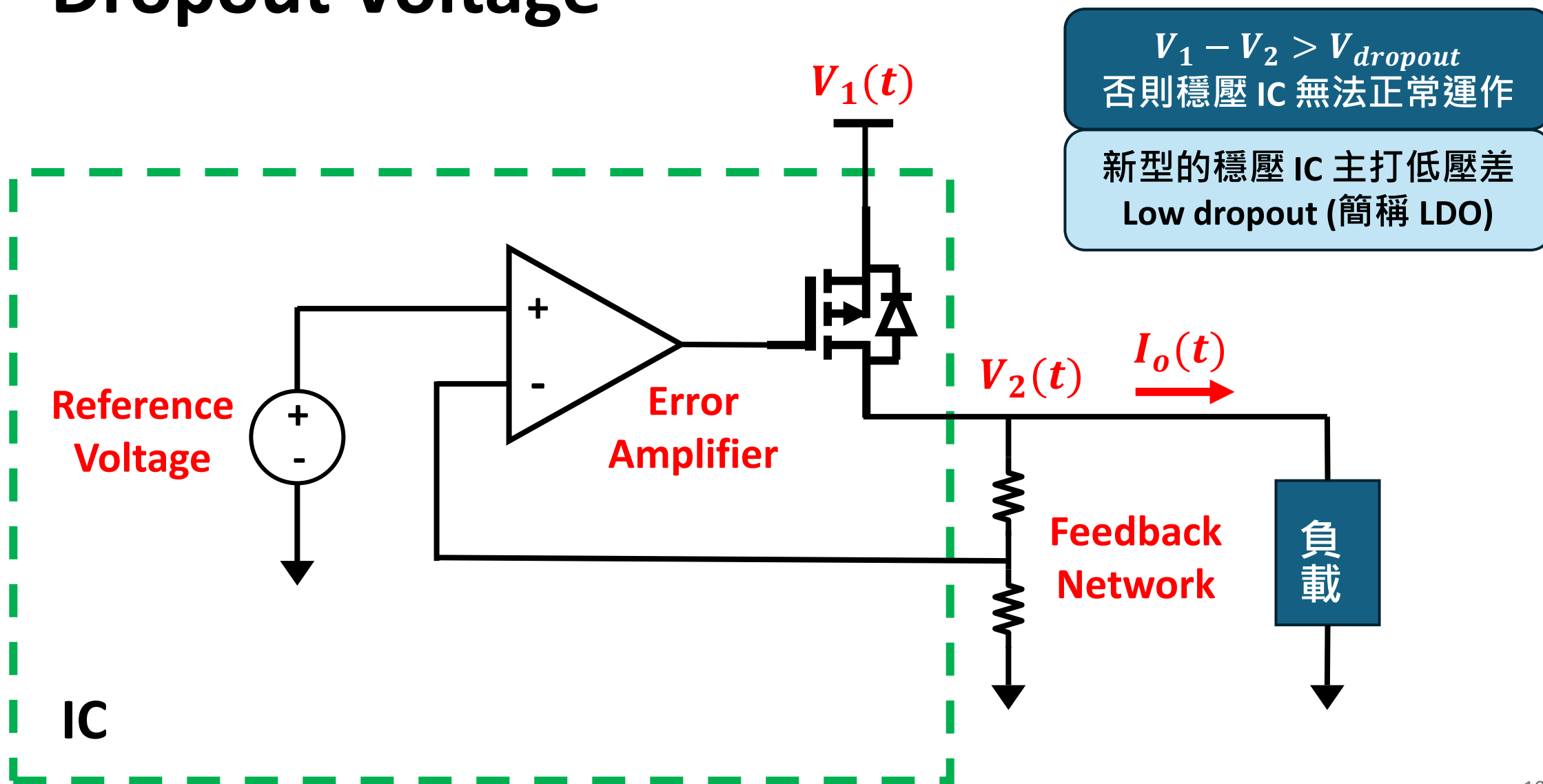
線性穩壓器 Linear Voltage Regulator



Feedback of linear regulators



Dropout Voltage



常見的線性穩壓 IC

- 78XX 系列
 - LM317
 - AMS1117
 - HT-75XX 系列
- } 上古時代的 IC，dropout voltage 要 2~3V
- 老字號 LDO，dropout voltage 大概 1.1V
- 低電流高電壓 LDO，dropout voltage 大概 0.5V

要比較新的 IC 的話可以找德州儀器(TI)、意法半導體(ST)等大廠
台廠的話可以找立錡(Richtek)，不過他們的 IC 零售很難買

LDO 設計範例

定義輸入/輸出電壓、電流

5.0V 轉 3.3V，電流 100mA

找 IC，計算回授電阻

計算散熱參數、升溫

LDO 設計範例

定義輸入/輸出電壓、電流

找 IC，計算回授電阻

計算散熱參數、升溫

TLV772 300mA, Small-Size, High-PSRR, Adjustable, Low-Dropout Regulator

1 Features

- High PSRR: 55dB (1MHz)
- V_{IN} range: 1.4V to 5.5V
- Adjustable output voltage range: 0.6V to 3.3V
- Output voltage accuracy: 2.5%
- Low dropout voltage:
 - 225mV at 300mA ($3.3V_{OUT}$)
- Foldback current limit with thermal shutdown
- Active output pulldown resistor
- Packages:
 - 5-pin X2SON (DQN)
 - 5-pin SOT-23 (DBV)

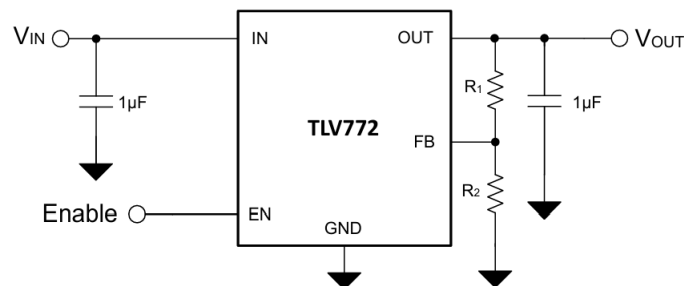
2 Applications

- [Smartphones](#)
- [Tablets](#)
- [Gaming consoles](#)
- [Notebooks](#)
- [Streaming media players](#)
- [Camera modules](#)

3 Description

The TLV772 is a small, adjustable, low-dropout (LDO) linear regulator that sources 300mA of output current. This LDO provides a voltage source with high PSRR and load and line transient performance that meets the requirements of a variety of circuits. With a 1.4V to 5.5V input voltage range and a 0.6V to 3.3V output voltage range, the TLV772 is flexible enough to be used in multiple applications.

The TLV772 features an internal soft-start circuit to avoid excessive inrush current, thus minimizing the input voltage drop during start-up. An active pulldown circuit quickly discharges the output when the LDO is disabled and provides a known start-up state. The EN input allows an external logic signal to enable or disable the regulated output. The LDO is stable with small ceramic capacitors, allowing for a small overall package size. The operating junction temperature range is from -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$. This LDO is available in standard X2SON (DQN) 1mm $\times$ 1mm and SOT-23 (DBV) packages.



$$V_{OUT} = V_{FB} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$
$$V_{FB} = 0.6V$$

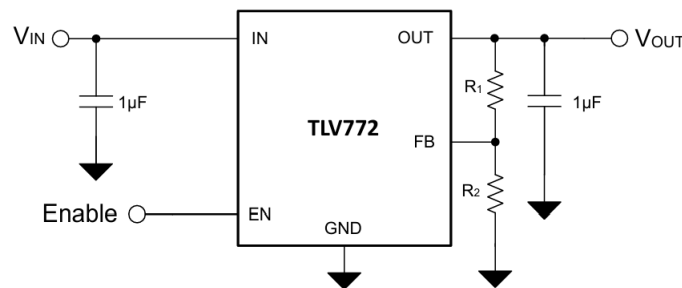
每顆 IC 的 FB 電壓
要看 datasheet 確認

LDO 設計範例

定義輸入/輸出電壓、電流

找 IC，計算回授電阻

計算散熱參數、升溫



$$V_{OUT} = V_{FB} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$
$$V_{FB} = 0.6V$$

每顆 IC 的 FB 電壓
要看 datasheet 確認

輸出 3.3V:

$$R_1 = 90k\Omega, R_2 = 20k\Omega$$



E12 series 數值:

$$R_1 = 91k\Omega, R_2 = 20k\Omega$$

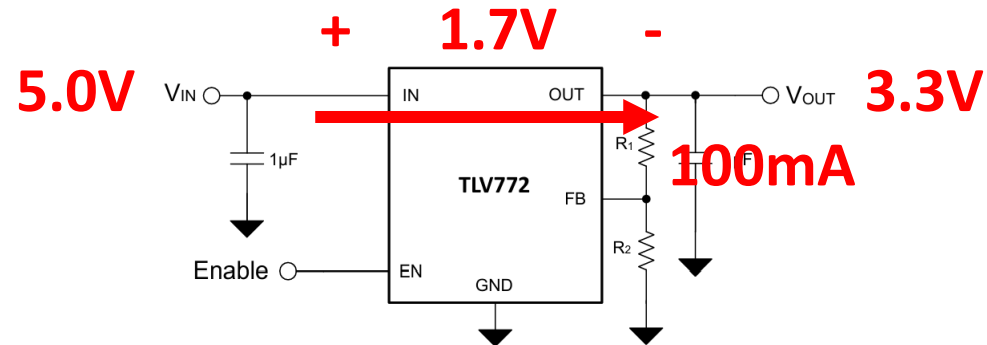
一般來說，回授電阻大概選幾十 kΩ 的數值
太大的話會有誤差，太小的話會流太多電流

LDO 設計範例

定義輸入/輸出電壓、電流

找 IC，計算回授電阻

計算散熱參數、升溫



總功率消耗：

$$P_D = 0.1 \times 1.7 = 0.17W$$

核心升溫：

$$\Delta T_J = 242.5 \times 0.17 = 41.2^\circ C$$

有點燙，但還可以

5.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		TLV772	TLV772	UNIT
		DBV (SOT-23)	DQN (X2SON)	
		5 PINS	5 PINS	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	242.5	236.2	$^\circ C/W$
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	140.9	218.5	$^\circ C/W$
$R_{\theta JB}$	Junction-to-board thermal resistance	109.4	180.8	$^\circ C/W$
Ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	76.1	16.1	$^\circ C/W$
Ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	108.8	179.6	$^\circ C/W$
$R_{\theta JC(bot)}$	Junction-to-case (bottom) thermal resistance	N/A	157.2	$^\circ C/W$

Fixed Output

有些輸出電壓太常見，
所以 IC 廠直接做固定輸出電壓，
就不用自己調回授電阻

例如：3.3V、5.0V

TLV774 300mA, Small-Size, High-PSRR, Low-Dropout Regulator With Enable

1 Features

- High PSRR: 60dB (1kHz), 45dB (1MHz)
- V_{IN} range: 1.4V to 5.5V
- Fixed output voltage range: 0.6V to 3.3V
- Output voltage accuracy: 2%
- Low dropout voltage:
 - 310mV max at 300mA ($1.2V_{OUT}$) over temperature
- Foldback current limit
- Active output pulldown resistor
- Package:
 - 1mm × 1mm, 4-pin X2SON (DQN)

2 Applications

- Smartphones
- Tablets
- Gaming consoles
- Notebooks
- Streaming media players
- Set-top boxes
- Camera modules

3 Description

The TLV774 is a small, low-dropout (LDO) linear regulator that sources 300mA of output current. This LDO is designed to provide a voltage source with high PSRR. This device also provides load and line transient performance that meets the requirements of a variety of circuits. With a 1.4V to 5.5V input voltage range and a 0.6V to 3.3V output voltage range, the TLV774 is flexible enough for use in multiple applications.

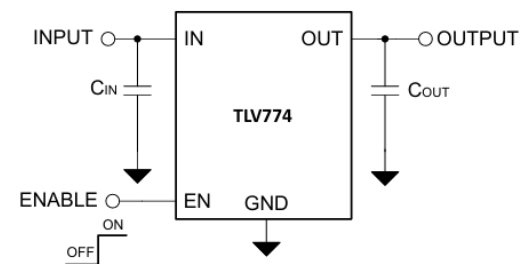
The TLV774 features an internal soft-start circuit to avoid excessive inrush current, thus minimizing the input voltage drop during start-up. An active pulldown circuit quickly discharges the output when the LDO is disabled and provides a known start-up state. The EN input allows an external logic signal to enable or disable the regulated output. The LDO is stable with small ceramic capacitors, allowing for a small overall package size. The operating junction temperature range is from -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$. This LDO is available in a standard 1mm × 1mm X2SON (DQN) package.

Package Information

PART NUMBER	PACKAGE ⁽¹⁾	PACKAGE SIZE ⁽²⁾
TLV774	DQN (X2SON, 4)	1mm × 1mm

(1) For more information, see the [Mechanical, Packaging, and Orderable Information](#).

(2) The package size (length × width) is a nominal value and includes pins, where applicable.

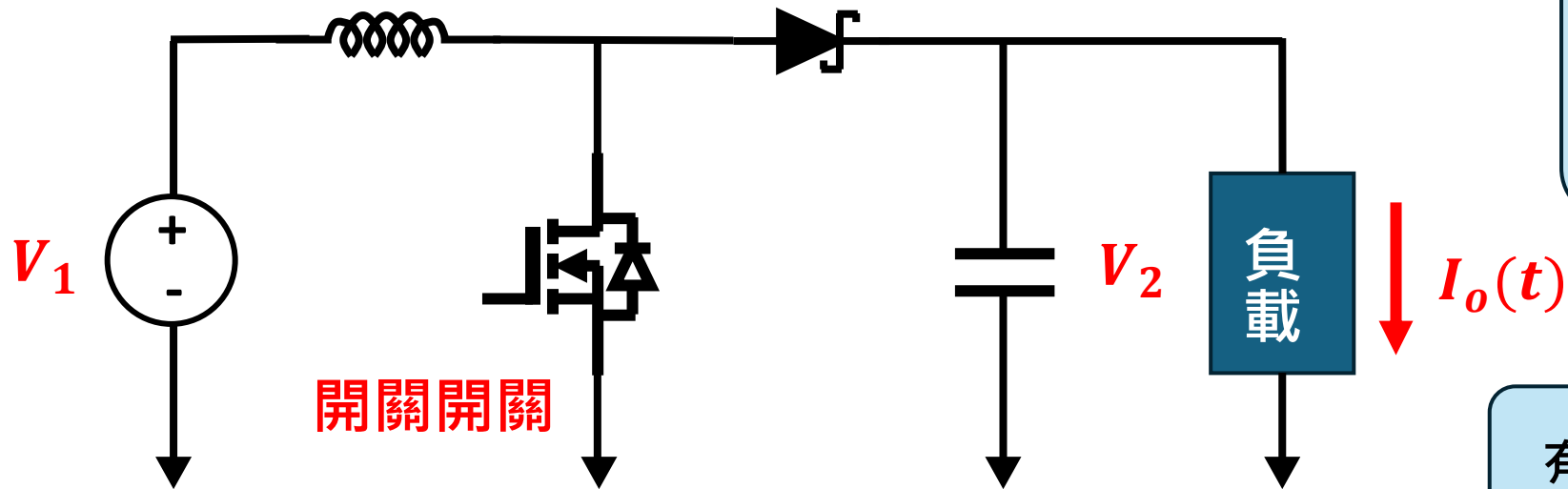


Typical Application Circuit

切換式穩壓器 Switch Mode Power Supply

目標

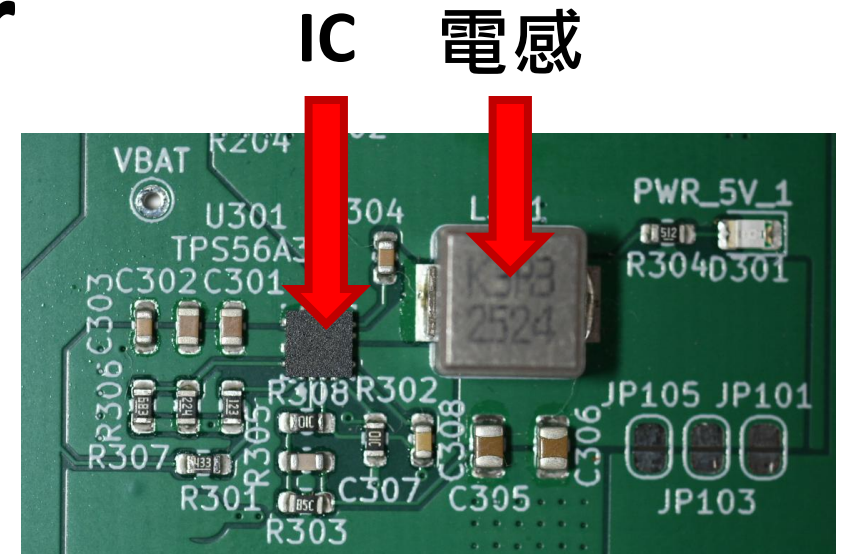
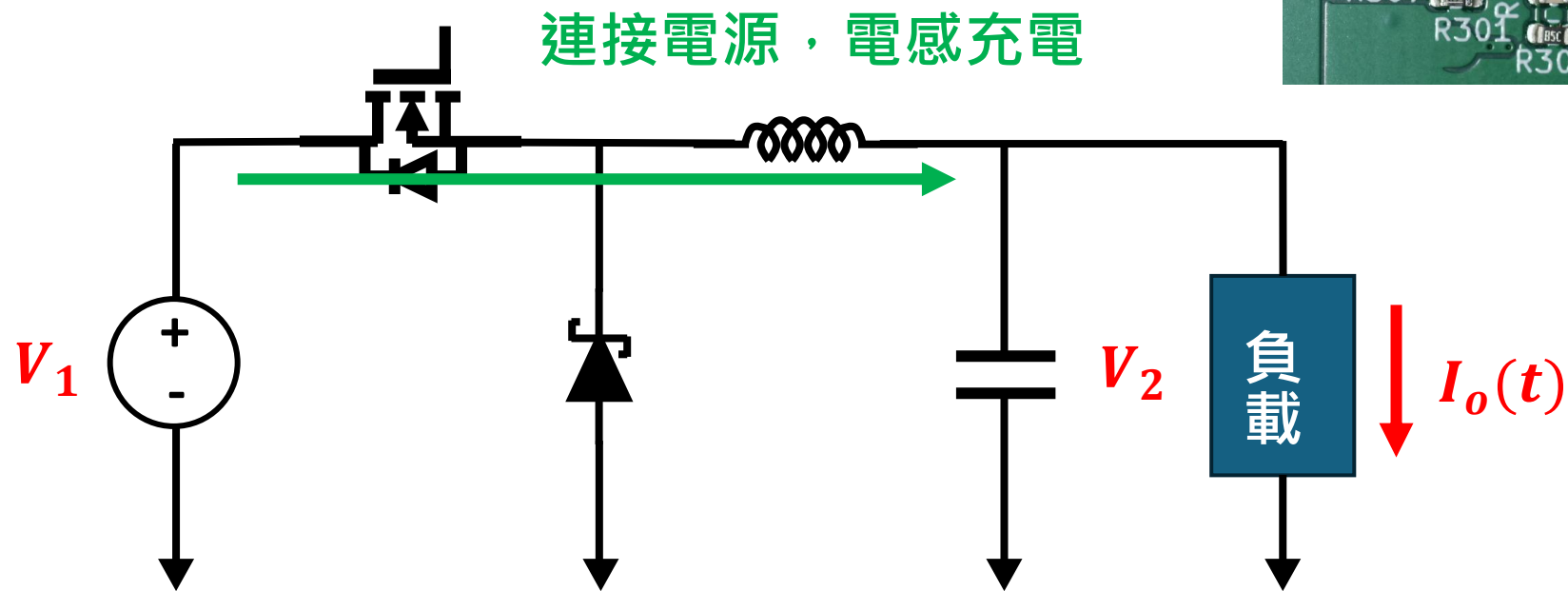
1. 把一個確定或不確定的電壓，**降壓或升壓**變成另一個確定的電壓
2. 確保輸出電壓在負載改變的時候維持穩定
3. 比線性穩壓器效率更好、發熱更少



SMPS 很很很複雜
這次只要大家認識到
1. 有兩個開關和一個電感
2. 可以降壓也可以升壓

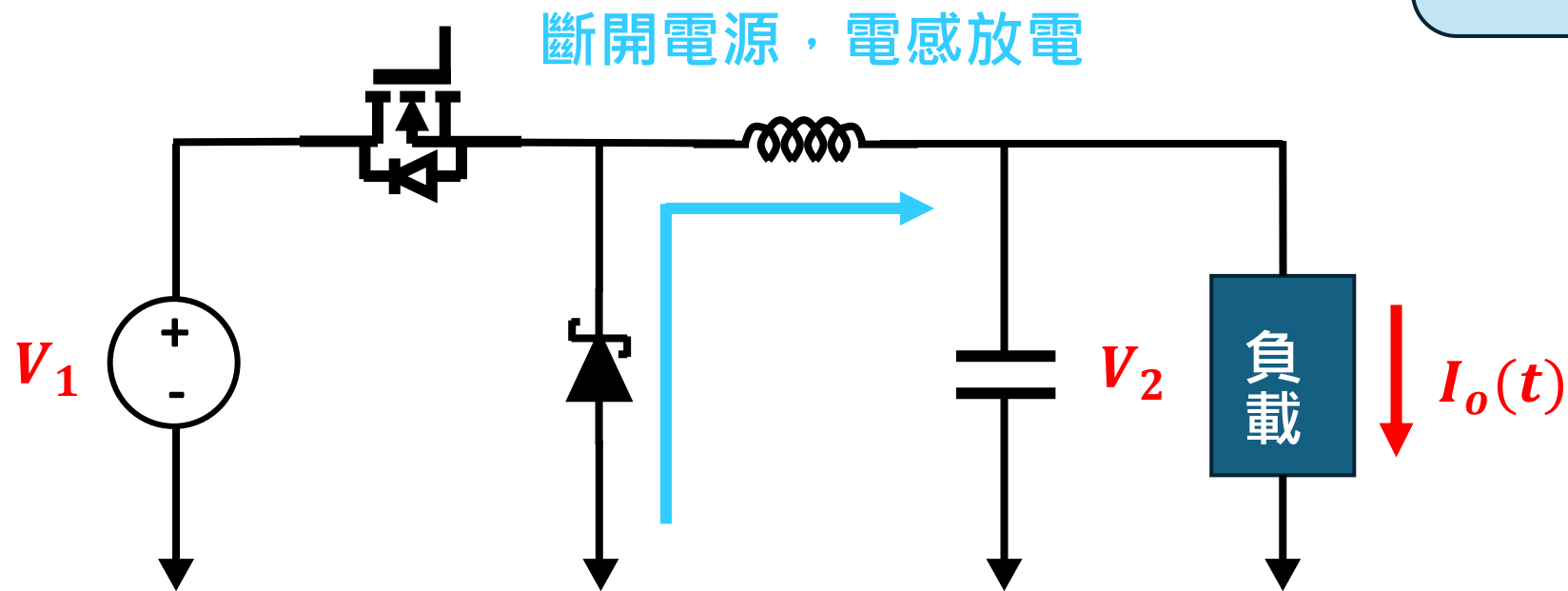
有興趣請看 MIT OCW 6.622

降壓轉換器 Buck Converter

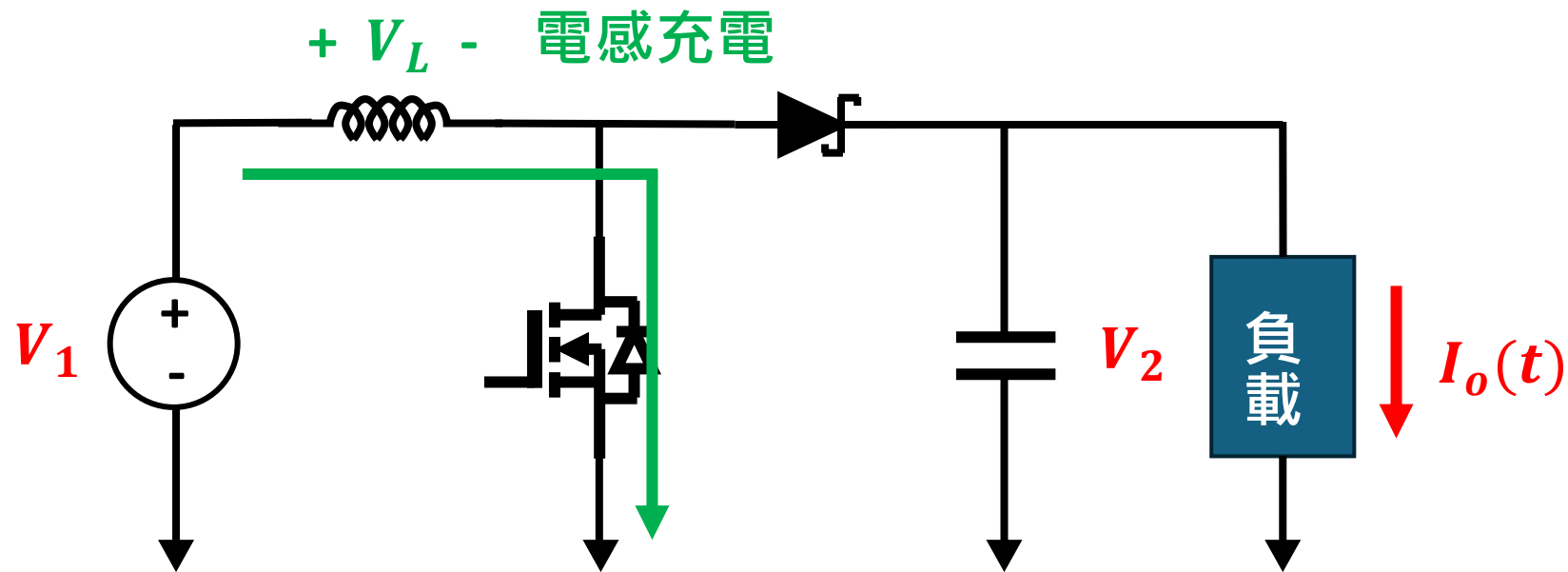


降壓轉換器 Buck Converter

透過一個週期裡面開和關的比例去調控電感電流，進而控制負載電壓 V_2

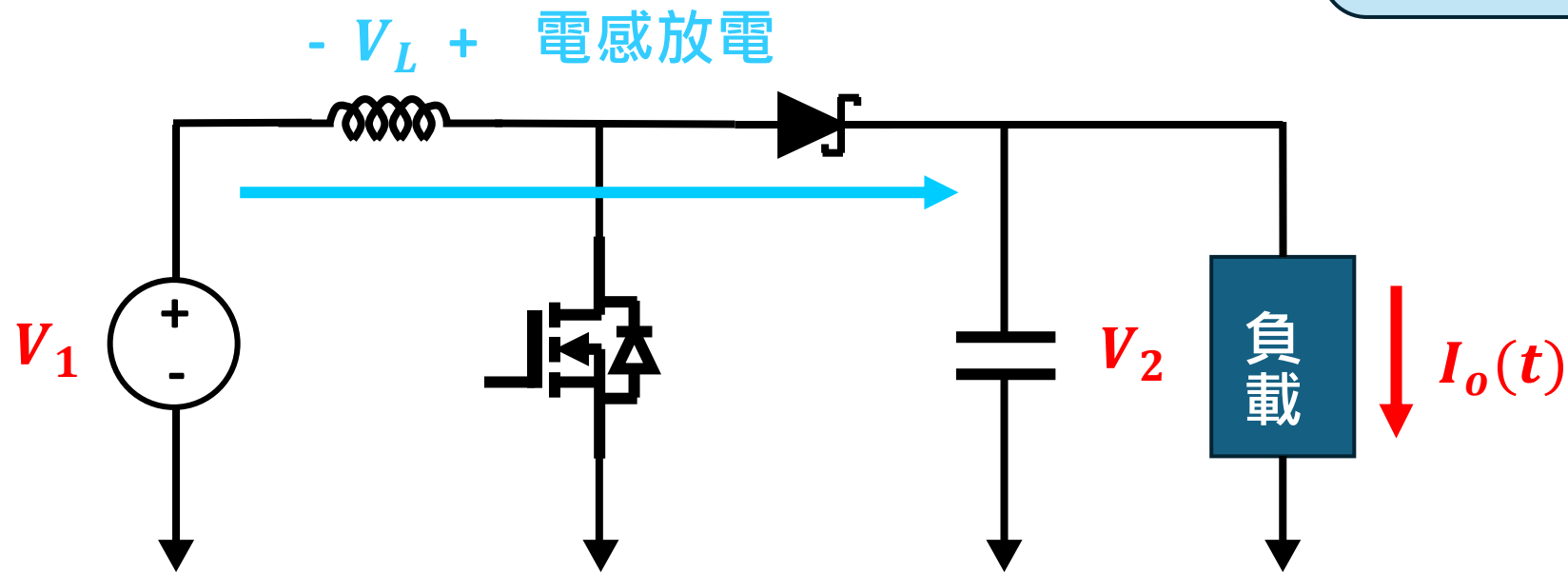


升壓轉換器 Boost Converter



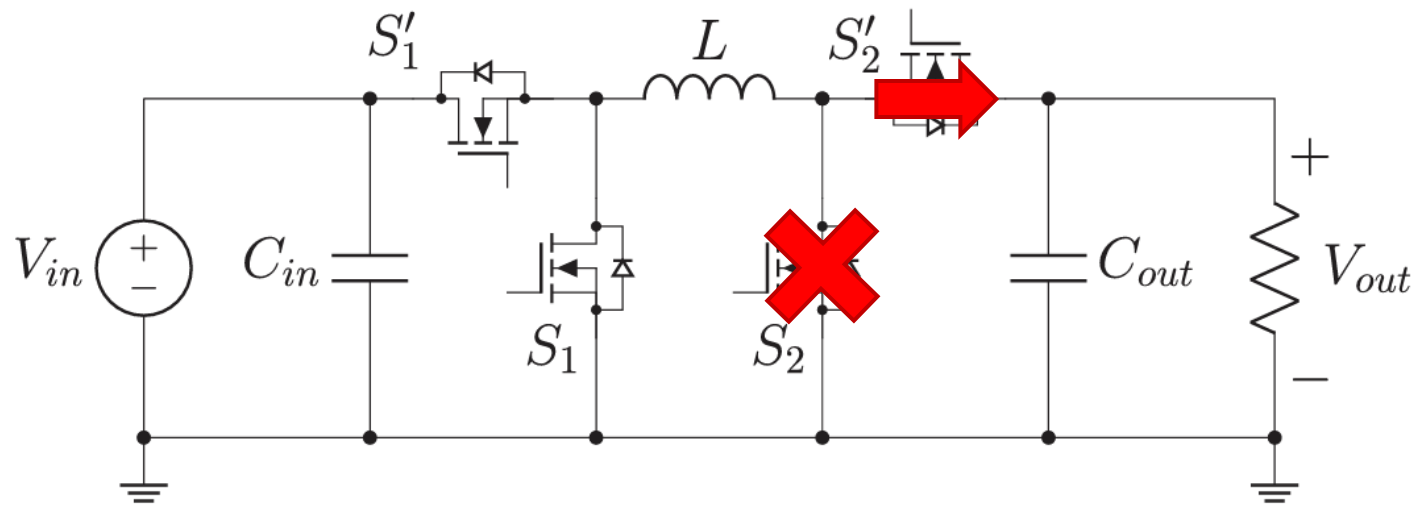
升壓轉換器 Boost Converter

理想上，我們可以把
電感電流充到任意的數值，
就可以讓負載電壓比輸入還要高



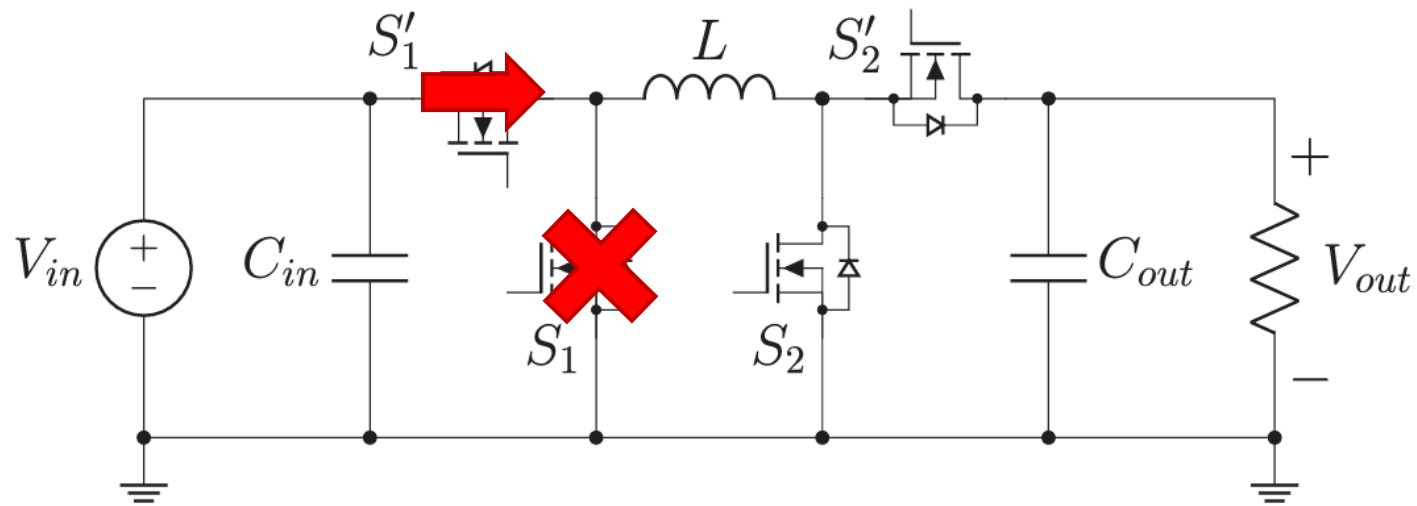
降壓/升壓轉換器 Buck-Boost Converter

降壓模式 (Buck)



降壓/升壓轉換器 Buck-Boost Converter

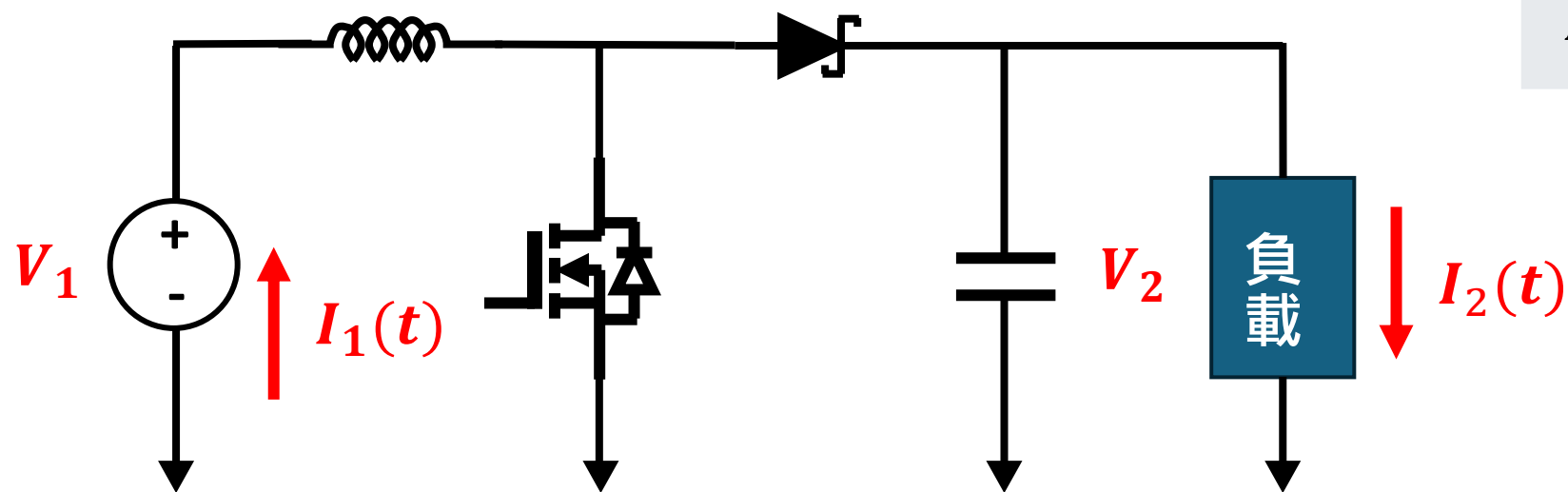
升壓模式 (Boost)



功率守恒

不管是升壓還是降壓，
平均下來的輸入輸出功率
必須是一樣的

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \text{ (平均而言)}$$

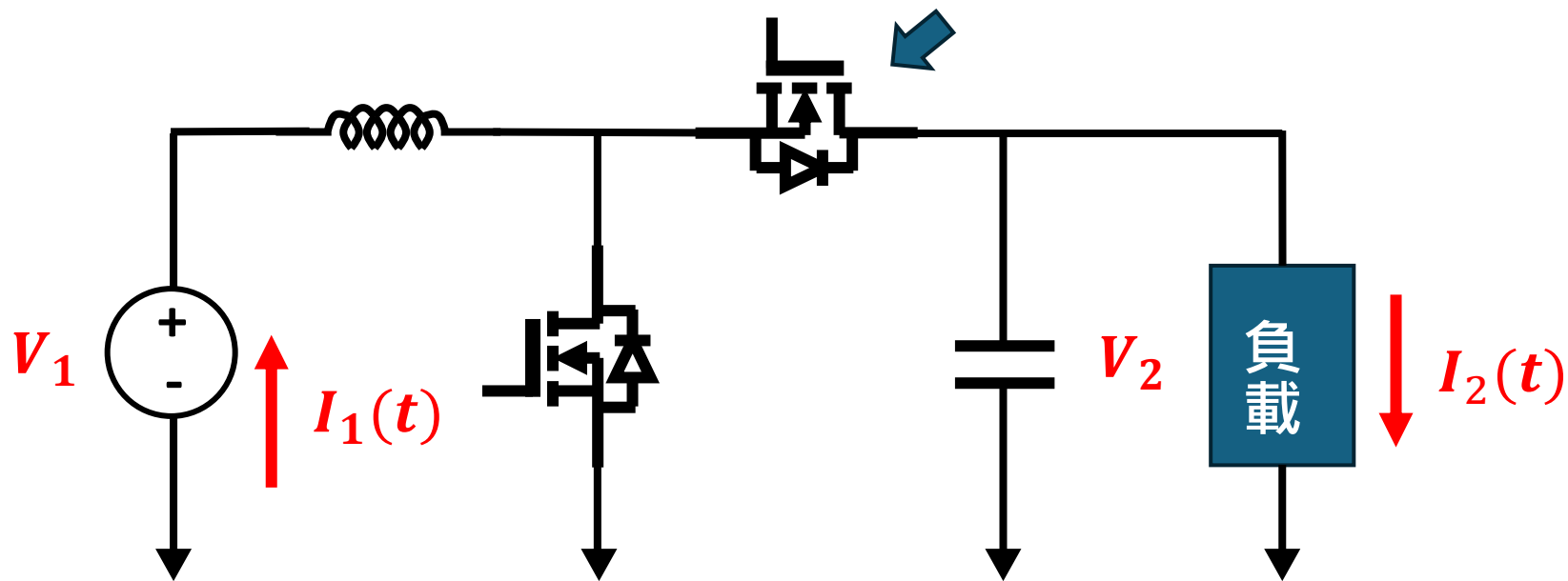


Buck	Boost
$V_{in} > V_{out}$	$V_{out} > V_{in}$
$I_{out} > I_{in}$	$I_{in} > I_{out}$

同步整流 Synchronous Rectification

新型的 IC 會設計同步整流，
把外面的 Schottky Diode 換成
內建的 MOSFET。

1. 提升效率
2. 省零件數量、少佔 PCB 面積



822 用過的切換電源 IC

- MC34063 上古時代的 IC，可以當 buck 或 boost，電流不能太大
- TPS54331 3A Buck，很難搞，強烈建議不要
- TPS61040 0.4A Boost，不錯但電流不大
- TPS56X37 10A Sync. Buck，很貴但不錯
- TPS562203 2A Sync. Buck，不錯
- AP6320X 2A Sync. Buck，不錯，有 fixed output 的版本

要其他規格的話可以找德州儀器(TI)、意法半導體(ST)、Diodes、Onsemi
台廠的話可以找立錡(Richtek)，不過他們的 IC 零售很難買

切換電源 IC 注意事項

- 最大電流要注意是 continuous 還是 switch current
- 切換頻率：通常新的 IC 會做比較高，這樣電感可以用比較小的
- (Buck) Enable 訊號要在輸入電壓比目標輸出電壓大之後才可以給，不然 IC 可能會炸掉
- 經費允許下盡量選 synchronous rectification 的 IC
- Layout 很重要，畫不好 IC 可能會炸掉
- SMPS 的輸出電壓通常髒髒的，如果有精密測量電路的話盡量還是用 LDO 生一個乾淨的電壓

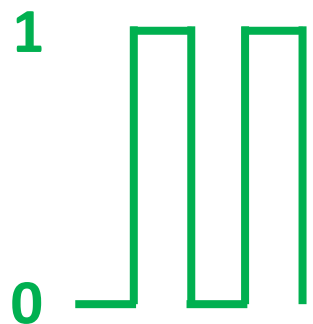
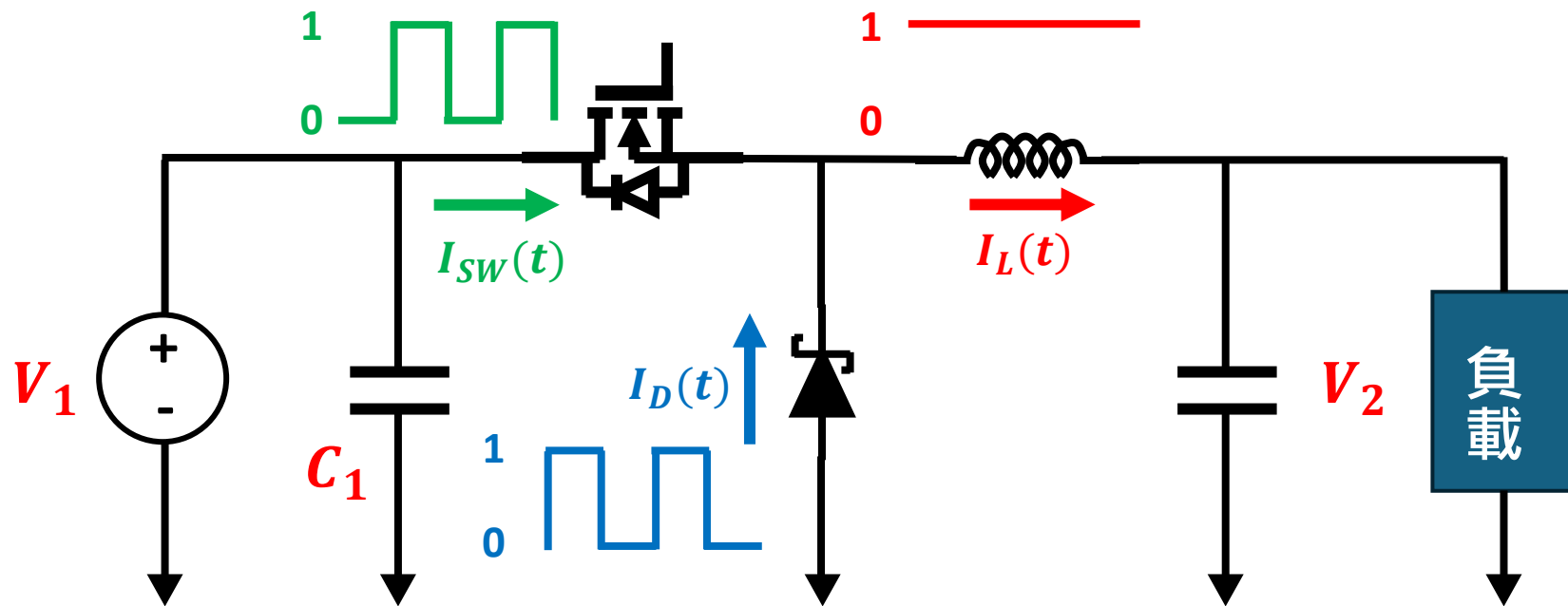
線性穩壓 vs. 切換電源

Linear Regulator	Switching Regulator
輸出電壓必須小於輸入	輸出電壓可以大於輸入 ☒
多餘的電壓以熱消耗掉	以切換的方式， 只使用剛好的能量 ☒
效率不好	重載效率 > 90% ☒
輸出電壓乾淨、雜訊低 ☒	輸出電壓有很多雜訊
設計簡單、不需要電感 ☒	需要注意電感的選擇和 layout

SMPS Layout

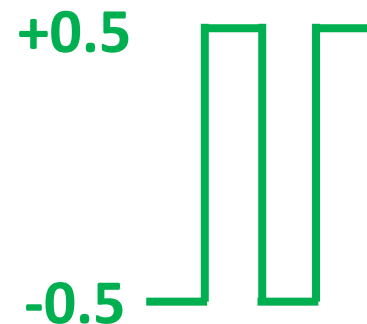
水很深

電流 = 直流 + 交流



$$= 0.5 \text{ ————— } +$$

DC, 由 V_1 提供,
以粗線優化

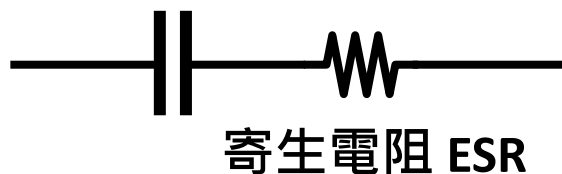


AC, 由 C_1 提供,
以降低迴圈面積優化

電容

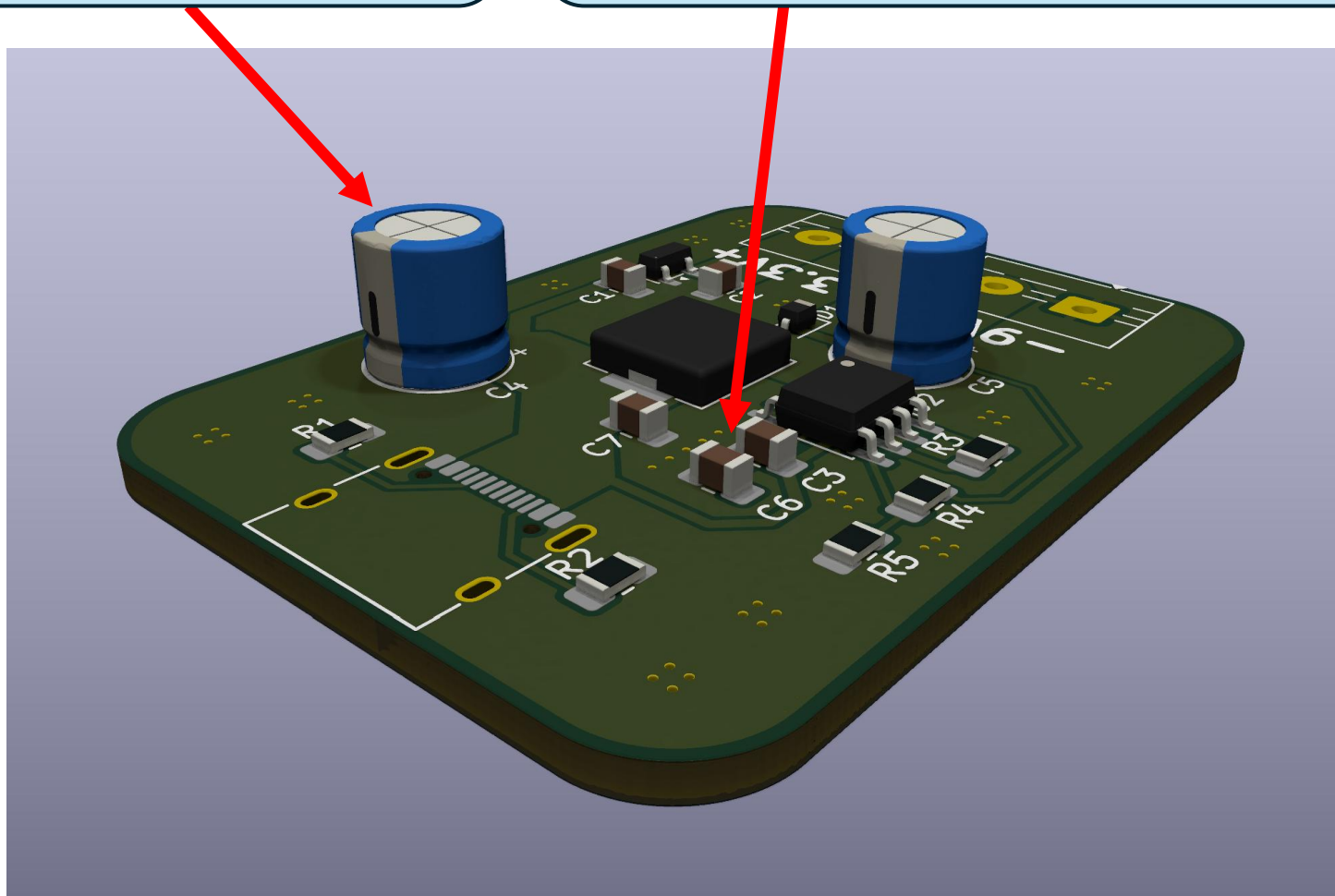
電解電容 (Electrolytic) :
有正負方向、容量大、寄生電阻大

陶瓷電容 (MLCC) :
無正負方向、容量小、高頻特性好



電容會想辦法讓兩端的
電壓保持不變

在高頻切換下，
電容可以視為一個電壓源
(Decoupling Cap.)



電感

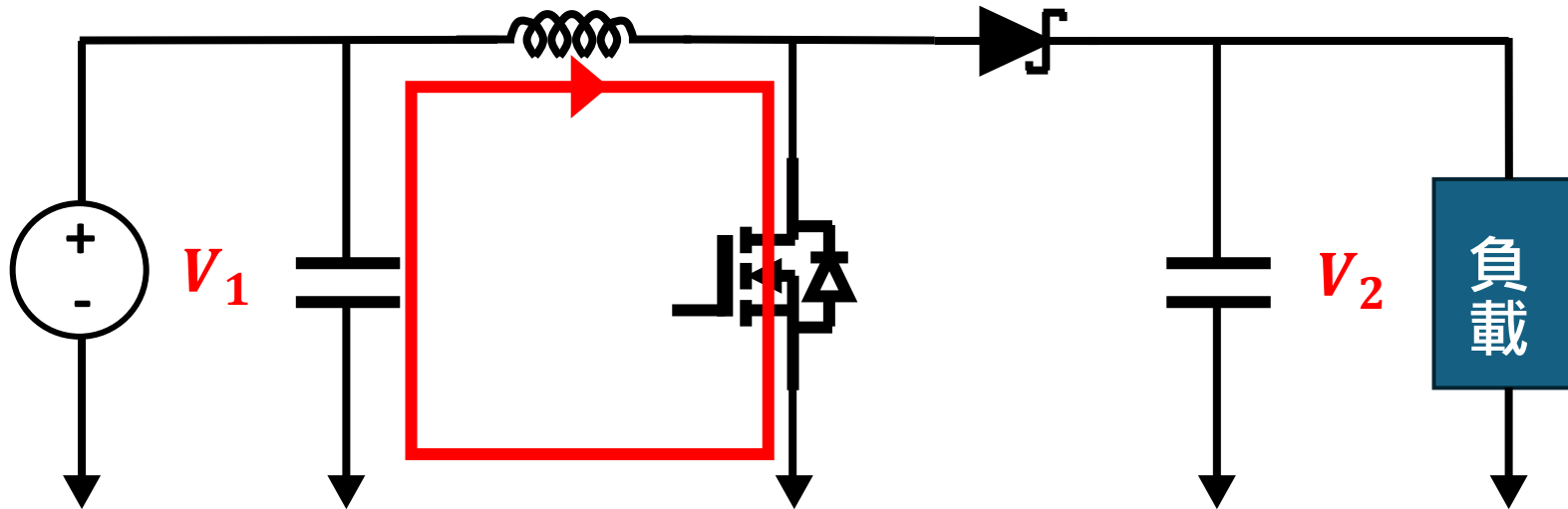
- 通常在電路中會避免使用電感，但在一般 SMPS 裡面逃不掉
- 電感通常是線圈包在鐵芯上面，會有寄生電阻
- 電流太大的時候鐵芯會飽和，電感值會下降
- **電感會想辦法讓流過的電流保持不變**
- 在高頻切換下，電感可以視為一個電流源

SMPS Layout

第一步：
找 Power Loop 在哪

Power Loop 是指在切換的過程中，
會有大電流開開關關流經的迴路

Boost:

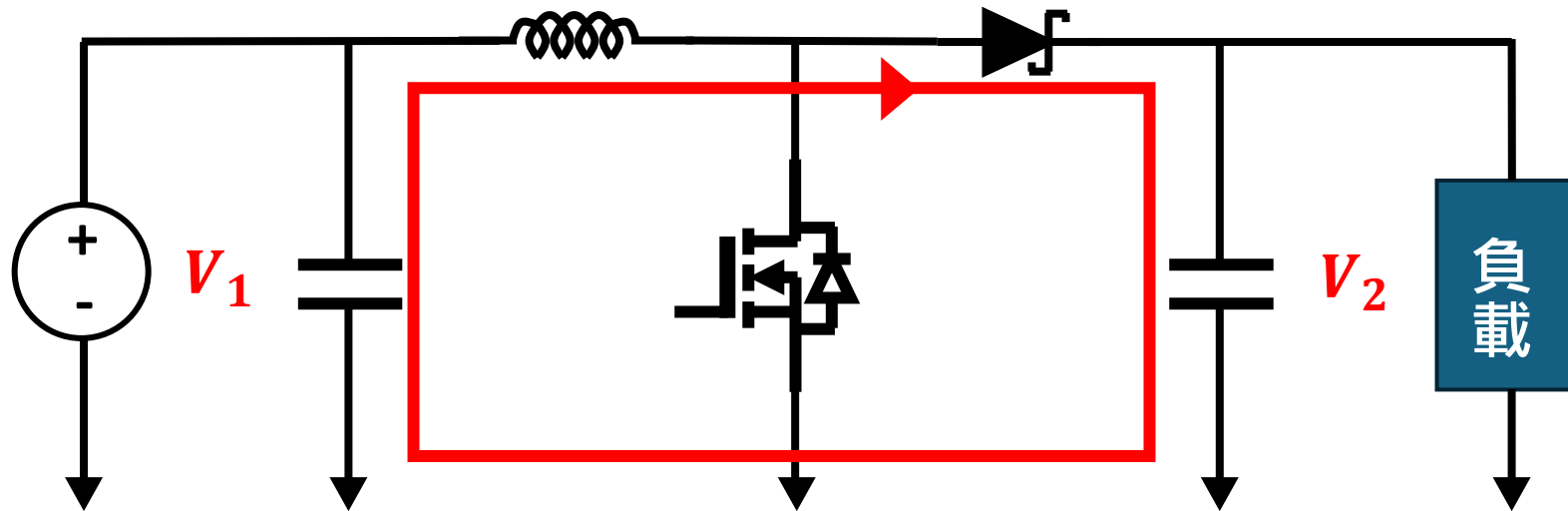


SMPS Layout

第一步：
找 Power Loop 在哪

Power Loop 是指在切換的過程中，
會有大電流開開關關流經的迴路

Boost:

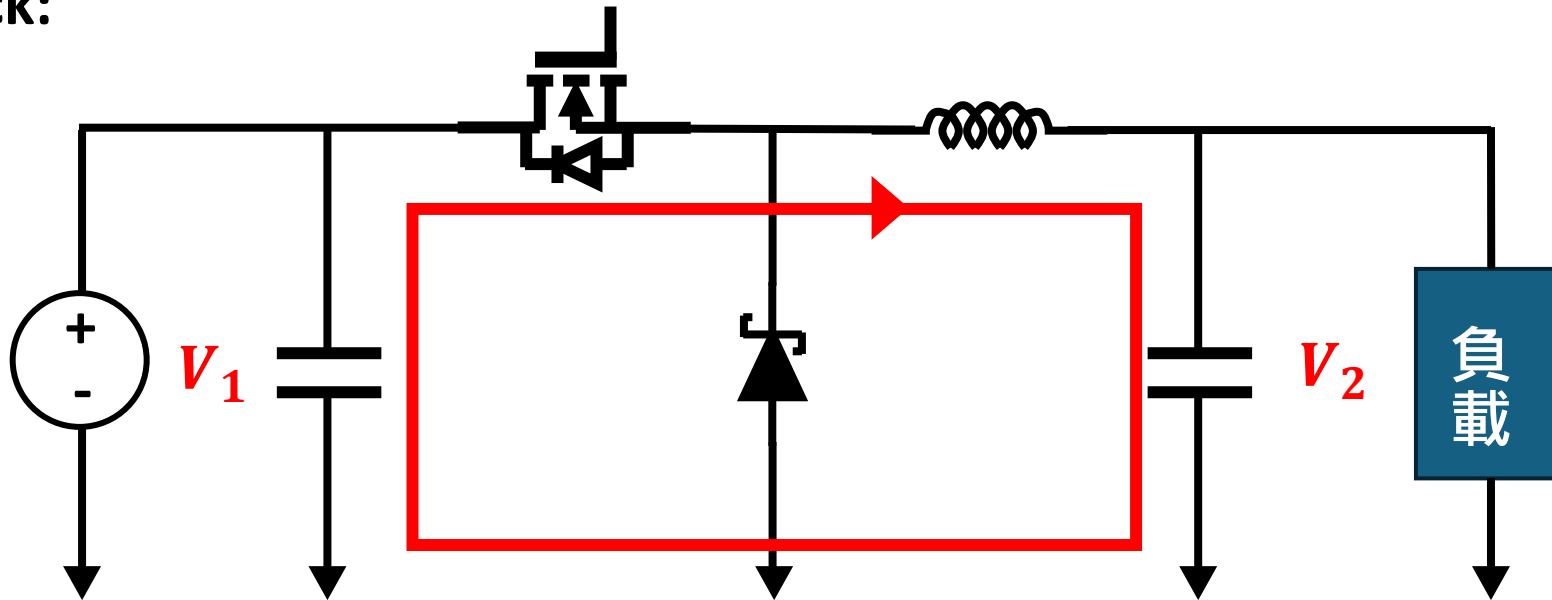


SMPS Layout

第一步：
找 Power Loop 在哪

Power Loop 是指在切換的過程中，
會有大電流開開關關流經的迴路

Buck:

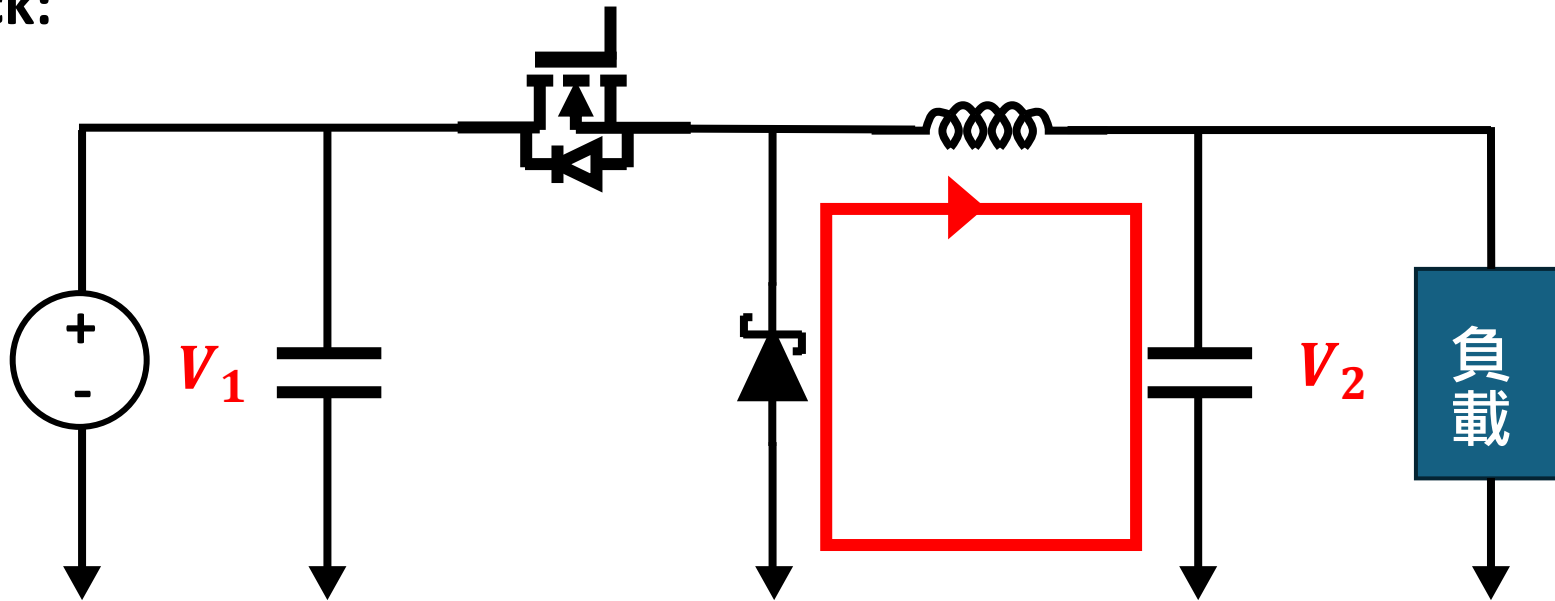


SMPS Layout

第一步：
找 Power Loop 在哪

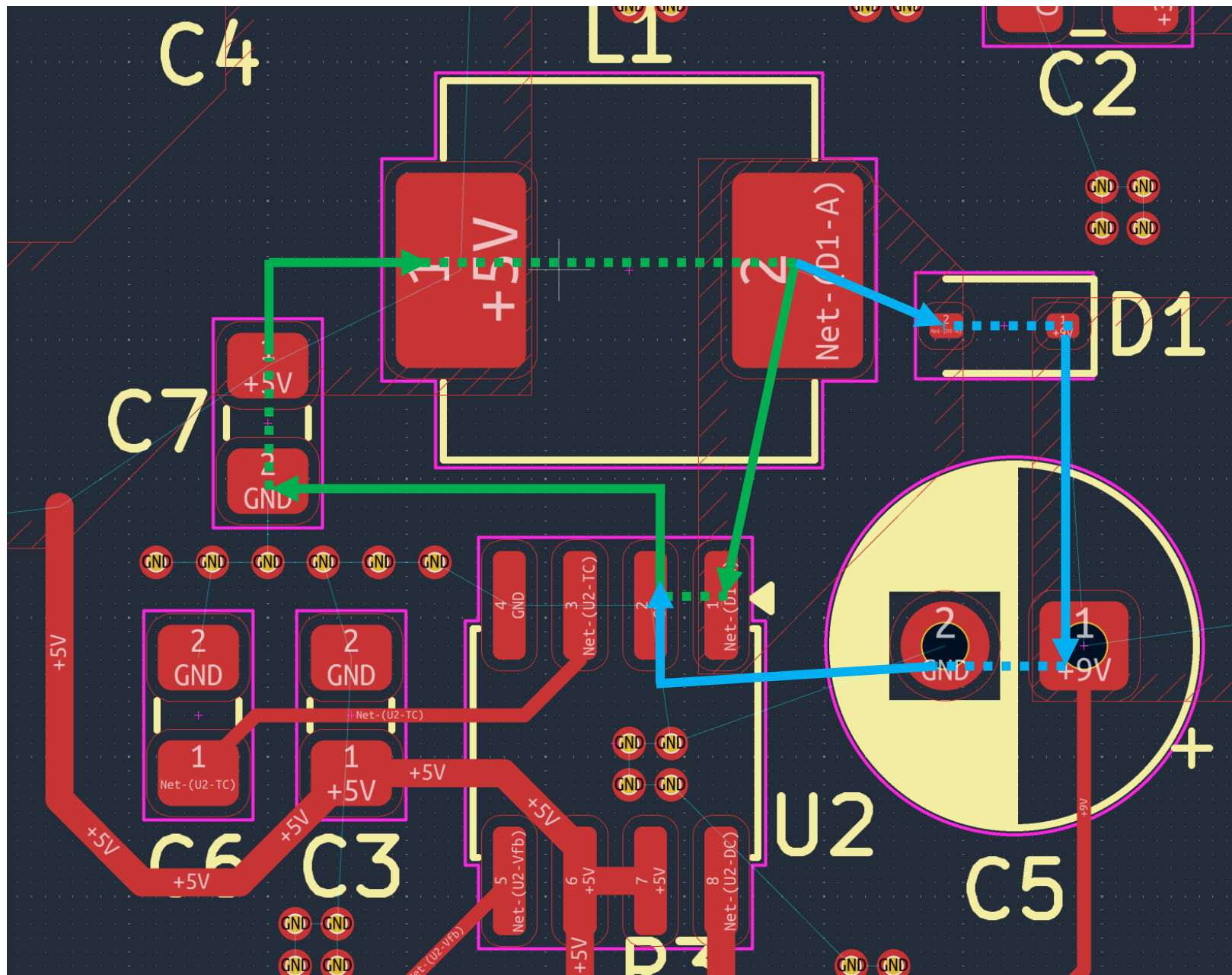
Power Loop 是指在切換的過程中，
會有大電流開開關關流經的迴路

Buck:



SMPS Layout

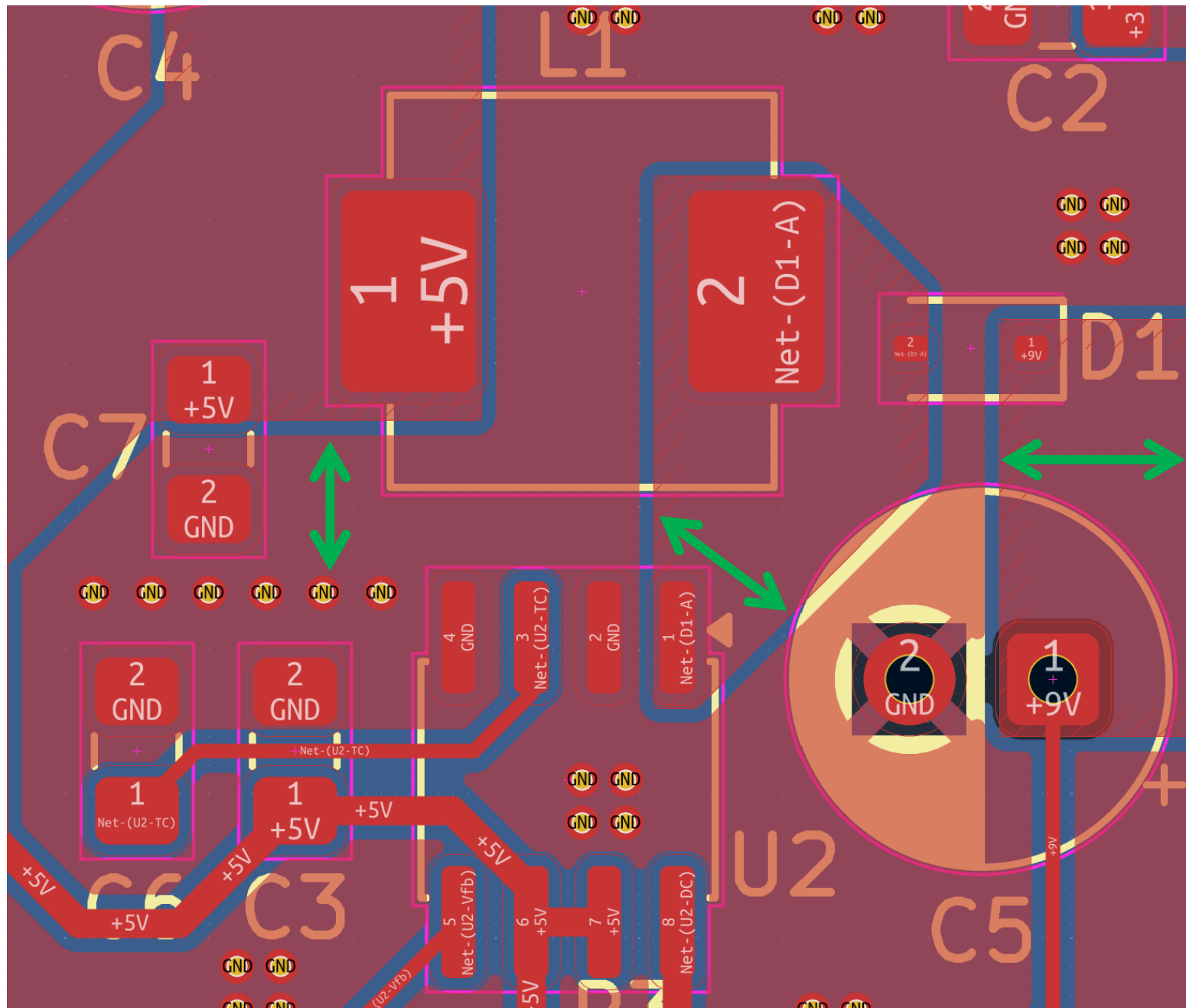
第二步：
擺零件，
Power Loop 越小越好



SMPS Layout

第三步：
走線，
Power Loop 越寬越好

通常會畫 zone，
鋪一個平面的銅，
增加線的寬度



SMPS Layout

第四步：
Via stitching，
把兩面 GND 縫合

因為電流很大，
GND plane 電流不均勻，會造成
各處的參考電位飄移，所以要
打很多 via 來做縫合

