

電力電子實習教具與教材製作

FLYBACK CONVERTER

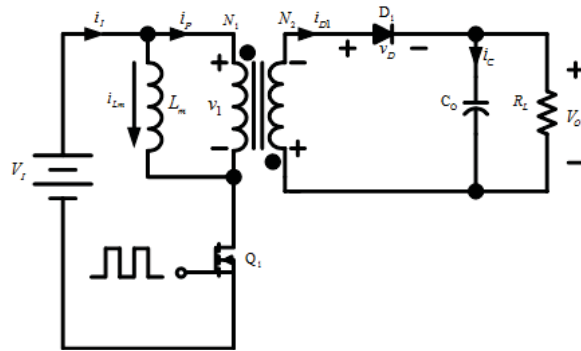
1

目錄

- 材料規格
- Flyback converter 介紹
- 電路圖
- 變壓器繞製
- 元件分佈
- 元件規格表
- 組裝步驟與注意事項
- 評估與量測
- 靜態測試紀錄
- 名詞說明
- 波形圖
- 效率曲線

3

□Flyback converter 介紹(1/16)



Flyback converter

4

□Flyback converter 介紹(2/16)

□ 一次側繞阻電壓可以表示如下：

$$v_p(t) = V_I \quad (1)$$

□ 知道一次側繞阻電壓電壓及其等效電感後可推導出其電流：

$$(0 \leq t \leq DT_s)$$

$$\begin{aligned} i_p(t) &= i_p(0) + \frac{1}{L} \int_0^t v_p(t) dt \\ &= i_p(0) + \frac{1}{L_p} V_I t \end{aligned} \quad (2)$$

□ 當 $t = t_{ON} = DT_s$ ，可將(2)整理成下式：

$$i_p(DT_s) = i_p(0) + \frac{1}{L_p} V_I DT_s \quad (3)$$

Q1 ON 時的等效電路圖

5

□Flyback converter 介紹(3/16)

□ 一次側繞阻電壓可以表示如下：

$$v_s(t) = V_o \quad (4)$$

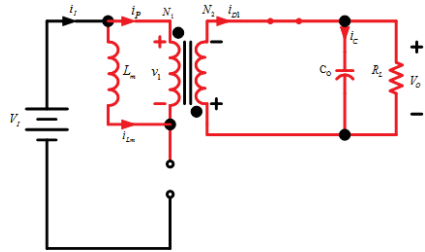
□ 知道一次側繞阻電壓電壓及其等效電感後可推導出其電流：
($DT_s \leq t \leq T_s$)

$$\begin{aligned} i_s(t) &= i_s(DT_s) - \frac{1}{L_s} \int_{DT_s}^t v_s(t) dt \\ &= ni_p(DT_s) - \frac{1}{L_s} V_o(t - DT_s) \quad (5) \end{aligned}$$

□ 當 $t = (1-D)T_s$ ，可將(5)整理成下式：

$$i_s(T_s) = ni_p(DT_s) - \frac{1}{L_s} V_o(1-D)T_s \quad (6)$$

$$\text{where } n = \frac{N_1}{N_2}$$



Q1 OFF 時的等效電路圖

□Flyback converter 介紹(4/16)

$$\square \text{ 又 } i_s(T_s) = ni_p(0) \quad (7)$$

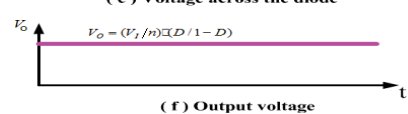
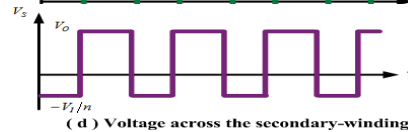
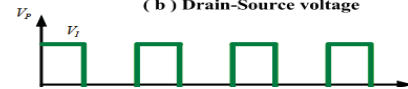
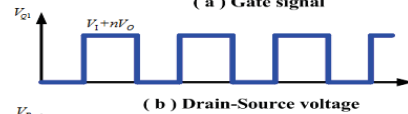
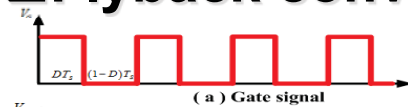
$$i_s(T_s) = ni_p(0) + \frac{n}{L_p} V_i DT_s - \frac{1}{L_s} V_o(1-D)T_s \quad (8)$$

$$\square \text{ 此外還能得到： } \frac{nV_i D}{L_p} = \frac{V_o(1-D)}{L_s} \quad (9)$$

$$\square \text{ 又 } L_p = n^2 L_s \quad (10)$$

$$\square \text{ 最後可得 } V_o \text{ 及 } V_i \text{ 關係式： } \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{1-D}$$

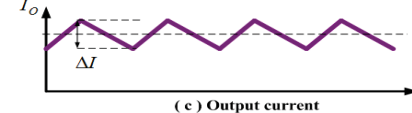
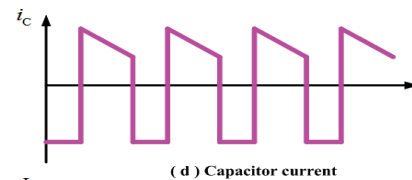
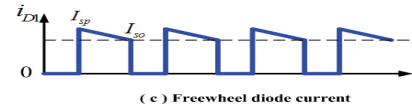
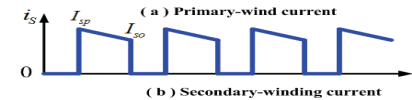
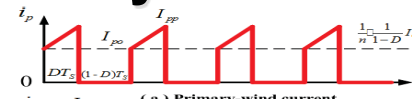
□Flyback converter 介紹(5/16)



Various voltage waveforms of the Flyback converter operated in C.C.M

C.C.M: 連續導通模式

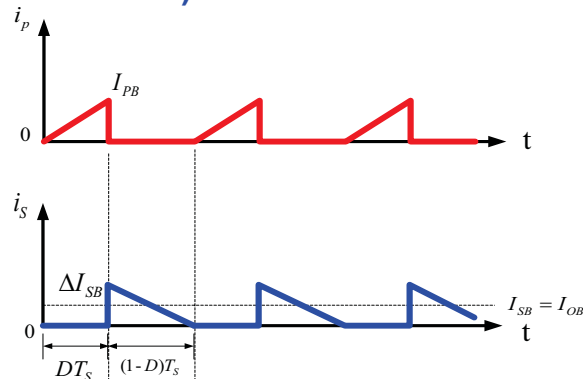
□Flyback converter 介紹(6/16)



Various current waveforms of the Flyback converter operated in C.C.M

□Flyback converter 介紹(7/16)

□ Analysis of the Flyback converter in boundary mode (C.C.M/D.C.M.)



The waveform of the flyback converter in C.C.M/D.C.M. boundary

10

□Flyback converter 介紹(8/16)

□ From the above figure, we can obtain the following equations:

$$\Delta I_{SB} = \frac{V_o}{L_s} (1-D)T_s$$

$$= \frac{n^2 V_o}{L_p} (1-D)T_s \quad (11)$$

$$I_{SB} = I_{OB} = \frac{n^2 V_o}{2L_p} (1-D)T_s \quad (12)$$

$$I_o > I_{SB} = I_{OB} = \frac{n^2 V_o}{2L_p} (1-D)^2 T_s \quad \text{for C.C.M. condition} \quad (13)$$

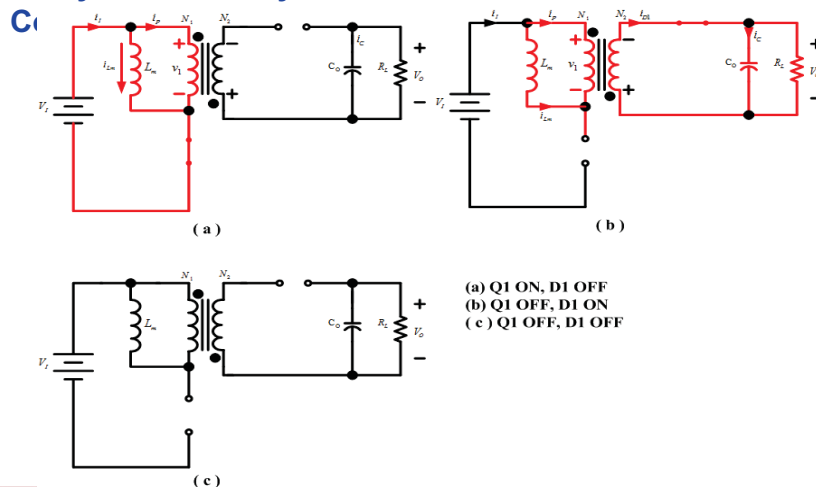
□ And:

$$L_p > L_{PB} = \frac{n^2 V_o}{2L_p} (1-D)^2 T_s \quad \text{for C.C.M. condition} \quad (14)$$

11

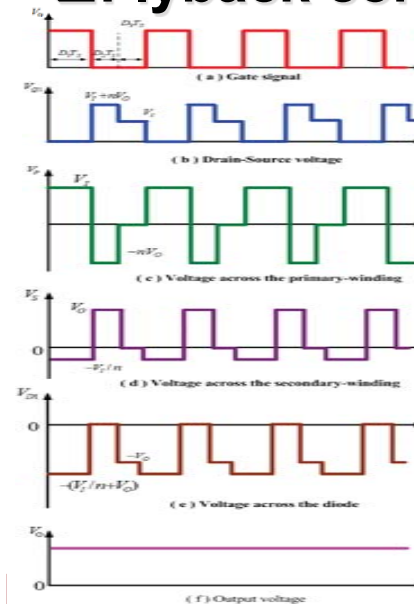
□Flyback converter 介紹(9/16)

□ Analysis for the Flyback converter in Discontinuous



12

□Flyback converter 介紹(10/16)

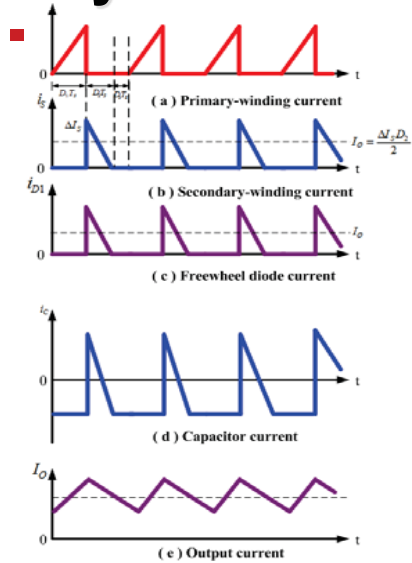


Various voltage waveforms of the Flyback converter operated in D.C.M

D.C.M : 不連續導通模式

13

□ Flyback converter 介紹(11/16)



Various current waveforms of the Flyback converter operated in D.C.M.

14

□ Flyback converter 介紹(12/16)

□ 由上三頁的圖我們可得下式：

$$V_i D_1 T_s = n V_o D_2 T_s \quad (15)$$

□ 再做整理可得：

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{n} \cdot \frac{D_1}{D_2}$$

15

□ Flyback converter 介紹(13/16)

□ 因

$$\Delta I_s = \frac{V_o D_2 T_s}{L_s} \quad (17)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_L} = \frac{\Delta I_s D_2}{2} \quad (18)$$

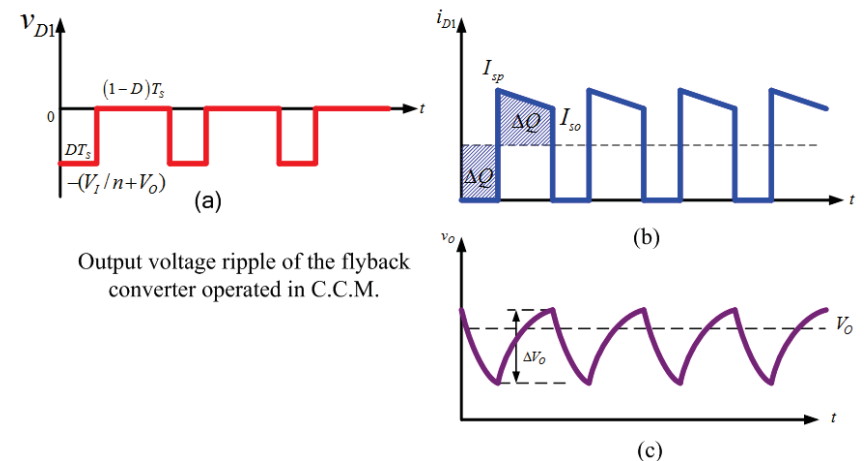
□ 由(17)、(18)可得：

$$\frac{V_o}{R} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_o D_2^2 T_s}{L_s}$$

$$\Rightarrow D_2 = \sqrt{\left(\frac{2 L_s}{R_L T_s} \right)} \quad (19)$$

16

□ Flyback converter 介紹(14/16)



Output voltage ripple of the flyback converter operated in C.C.M.

17

□Flyback converter 介紹(15/16)

- The Figure helps to determine the output voltage ripple as follows:

$$\begin{aligned}\Delta V_o &= \frac{\Delta Q}{C_o} = \frac{I_o D T_s}{C_o} \\ &= \frac{V_o}{R} \frac{D T_s}{C_o}\end{aligned}\quad (20)$$

- Thus, output voltage ripple is :

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D T_s}{R_L C_o} \times 100\% \quad (21)$$

18

□Flyback converter 介紹(16/16)

- Selection of Components :

Switch: $V_{DS,Q1(max)} \geq V_I + nV_o \quad (22)$

$$I_{Q1(max)} = I_{pp} = \frac{I_o + I_{OB}}{n(1-D)} \quad (23)$$

Diode: $V_{D1(max)} \geq \frac{V_I}{n} + V_o \quad (24)$

$$I_{D1(max)} = I_{sp} = \frac{I_o + I_{OB}}{1-D} \quad (25)$$

and $I_{Q1(avg)} = \frac{DI_o}{n(1-D)} \quad (26)$

$$I_{D1(avg)} = I_o \quad (27)$$

19

□材料規格 (1/2)

➤ Input Voltage	36 VDC to 56VDC
➤ Output Voltage	12VDC
➤ Output Current	0.2 A to 2.5A
➤ Output Ripple Voltage	50mV
➤ Load Regulation	+/- 1%
➤ Line Regulation	+/- 1%
➤ Transient Response	1.5A to 2.5A, 0.1A/uS
➤ Overshoot / Undershoot	200mV
➤ Setting Time	5mS

20

□材料規格 (1/2)

➤ Start up

Rise Time	100 m S
Overshoot	250 m V
Delay Time	1 S

➤ Short-Circuit Protection

Auto-recovery

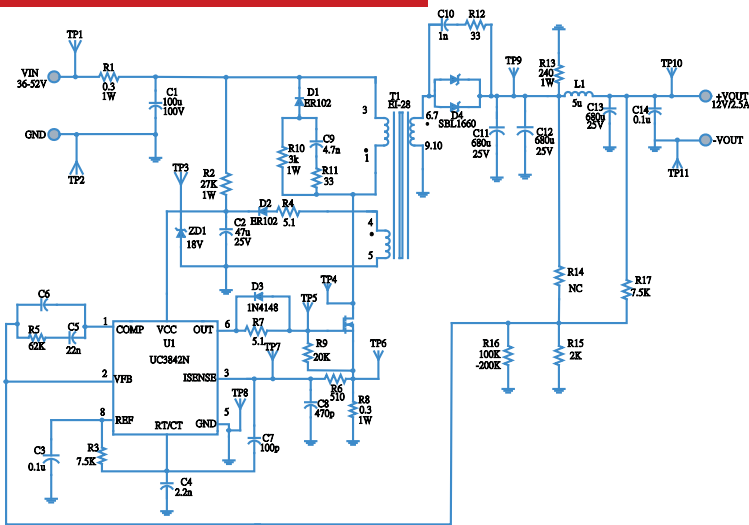
➤ Efficiency

> 85%

I/P : 10V , O/P : 4A

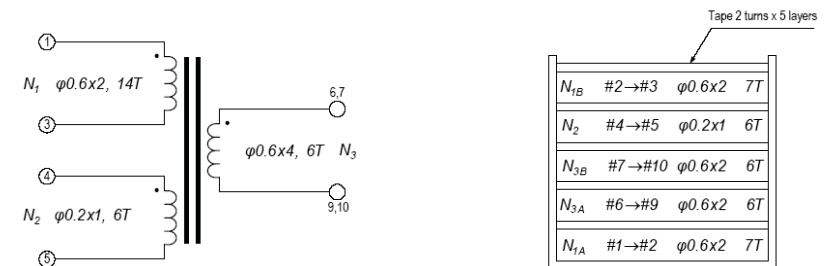
21

□ 電路圖



22

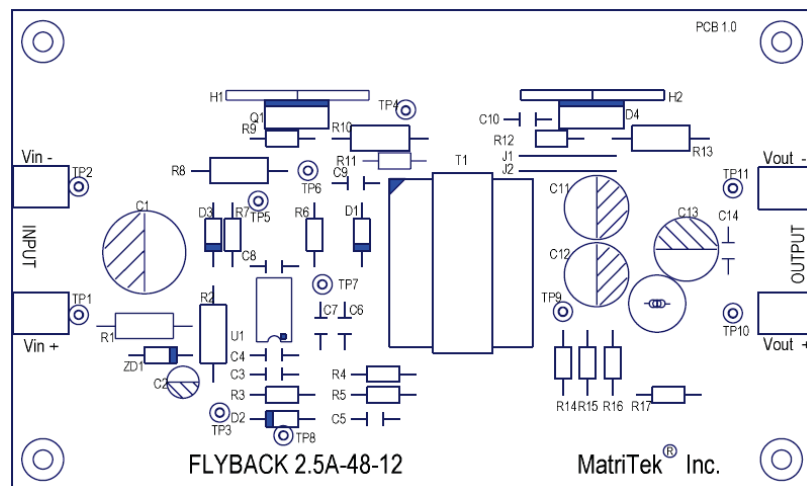
□ 變壓器繞製



1. Core : EI-28 (PC40 OR Equivalent)
2. Bobbin : EI-28 10 PIN VERTICAL
3. Inductance : 90 UH +/- 5UH (#1 TO #3)
4. CUT PIN : #2 & #8 AFTER WINDING

23

□ 元件分佈



24

□ 元件規格表 (1/3)

項次	PCB位置	規格說明	數量
1	R1	RES 0R3 +/-5% 1W	1
2	R2	RES 27K +/-5% 1W	1
3	R3	RES 7.5K +/-5% 1/4W	1
4	R4	RES 5R1 +/-5% 1/4W	1
5	R5	RES 62K +/-5% 1/4W	1
6	R6	RES 510 +/-5% 1/4W	1
7	R7	RES 0R3 +/-5% 1W	1
8	R8	RES 20K +/-5% 1/4W	1
9	R9	RES 20K +/-5% 1/4W	1
10	R10	RES 3K +/-5% 1W	1
11	R11	RES 33 +/-5% 1/4W	1
12	R12	RES 33 +/-5% 1/4W	1
13	R13	RES 240 +/-5% 1W	1

25

□元件規格表（2/3）

項次	PCB位置	規格說明	數量
15	R15	RES 2K +/-5% 1/4W	1
16	R16	RES 180K +/-5% 1/4W	1
17	R17	RES 7K5 +/-5% 1/4W	1
18	C1	EC 100U 100V 13X20	1
19	C2	EC 47U 25V 6X11	1
20	C3	MLCC 104 50V	1
21	C4	MLCC 222 50V	1
22	C5	MLCC 223 50V	1
24	C7	MLCC 101 50V	1
25	C8	MLCC 471 50V	1
26	C9	MLCC 472 50V	1

26

□元件規格表（3/3）

項次	PCB位置	規格說明	數量
27	C10	MLCC 102 50V	1
28	C11	EC 680U 25V 10X20	1
29	C12	EC 680U 25V 10X20	1
30	C13	EC 680U 25V 10X20	1
31	C14	MCLL 104 50V	1
32	T1	TRANSFORMER EI-28 FLYBACK	1

27

□組裝步驟與注意事項（1/5）

➤組裝工具

- (1) 溫控電烙鐵 30W，圓尖頭
- (2) 焊錫絲0.6Φ ~ 1.0Φ
- (3) 梅花起子
- (4) 尖嘴鉗
- (5) 斜口鉗

28

□組裝步驟與注意事項（2/5）

➤量測設備

- (1) 直流電源 60V / 3A
- (2) 電子負載 60V / 60A / 300W (DYNAMIC Function)
- (3) 100MHZ 以上數位儲存式示波器DSO (可Hard Copy畫面)
- (4) 100KHZ 以上 LCR Meter
- (5) Digital Multimeter
- (6) 電流探棒Current Probe (Optional)
- (7) Gain-Phase Analyzer (Optional)

29

□組裝步驟與注意事項 (3/5)

➤組裝一般注意事項

- (1) 對照料表，清點材料。必要時可用 RLC meter 確認電感、電容與電阻值。
- (2) 階層式組立步驟：先將獨立單元組立 (如功率半導體與散熱片組合)，再依零件高低由低而高依次焊錫固定。
- (3) 焊錫作業注意”三點同溫”原則，避免空焊、冷焊發生，也避免零件(特別是IC)過熱損壞。



30

□組裝步驟與注意事項 (4/5)

➤組裝步驟

- (1) 組立MOSFET Q1 與SBD D1 與散熱片。注意絕緣片與絕緣粒子。
- (2) 找零件腳當跳線J1、J2 與J3，並焊接於PCB 上。
- (3) 將次高的零件，Zener D3 與8 顆積層陶瓷電容(MLCC)，焊於PCB 上。
- (4) 其次是1/4W 的電阻，共11 顆。
- (5) 其次 D1 與D2。
- (6) 接著焊 IC (U1)，注意IC 腳位標示。



31

□組裝步驟與注意事項 (5/5)

- (7) 5 顆1W 電阻。
- (8) 焊接11 支Test Pin。
- (9) 依序將所有電解電容、電感及變壓器焊上。
- (10) 再來是帶散熱片的Q1 與D1 組合。
- (11) 檢查零件是否已完全裝在PCB 上。
- (12) 接著焊輸入與輸出的Pin (或Connector)
- (13) 最後將銅柱鎖定，完成PCB 作業。



32

□評估與量測 (1/3)

➤注意事項：

- (1) 輸入電源供應器的最大輸出電流須設定在2A左右，如果電源串聯輸出，先確定正確電壓。
- (2) 仔細查看電路圖，明確瞭解Test Pin 是哪一點。
- (3) 輸入端與輸出端要確認再開機。



33

□評估與量測 (2/3)

1. Conversion Efficiency
2. Load Regulation
3. Line Regulation
4. Output Ripple & Noise (DSO)
5. Dynamic Response (DSO)
6. Gate Signal And MOSFET Voltage (DSO)

34

□評估與量測 (3/3)

7. Start-up (Pin 8 to Pin 9) (DSO)
8. Current Sensing Voltage (U1 Pin3)
9. Secondary Diode Current
(OPTIONAL) (DSO +CURRENT PROBE)
10. Others

35

□靜態測試紀錄 (1/2)

輸入電壓 = 36V

輸出電流	0.5A	1A	1.5A	2A	2.5A	BOUNDARY
Vo						
lin						

輸入電壓 = 48V

輸出電流	0.5A	1A	1.5A	2A	2.5A	BOUNDARY
Vo						
lin						

輸入電壓 = 56V

輸出電流	0.5A	1A	1.5A	2A	2.5A	BOUNDARY
Vo						
lin						

36

□靜態測試紀錄 (2/2)

➤注意：

輸入電壓讀值：用DMM 量Pin 1 to Pin 2。

輸入電流讀值：可直接於電源供應器表頭讀取。

輸出電壓讀值：用DMM 量Pin 10 to Pin 11。

輸出電流讀值：可直接於電子負載表頭讀取。

37

□名詞說明 (1/5)

1. Conversion Efficiency :

用量取的資料，計算出效率，並以EXCEL 作圖。

$$\left(\eta = \frac{V_o \cdot I_o}{V_{in} \cdot I_{in}} \right)$$

2. Load Regulation :

$$\text{定義：} \textbf{Load Regulation} = \left| \frac{V_{o, \min \text{ load}} - V_{o, \text{fullload}}}{V_{o, \min \text{ load}}} \right| \times 100\%$$

用量取的資料，分別計算在三種輸入電壓下的負載穩壓率。



38

□名詞說明 (2/5)

3. Line Regulation :

$$\text{定義：} \textbf{Line Regulation} = \left| \frac{V_{o, \min \text{ input}} - V_{o, \max \text{ input}}}{V_{o, \min \text{ input}}} \right| \times 100\%$$

用量取的資料，分別計算在輸出電流為**0.5A, 1.5A, 2.5A**條件下下的線電壓穩壓率。

4. Output Ripple And Noise :

條件：輸出滿載 (**2.5A**)

輸入電壓 = **36V, 48V, 56V**

觀察記錄：用數位示波器觀察輸出電壓(**AC Coupling**)，並將波形記錄存檔。注意量測技巧，以免探棒耦合雜訊。

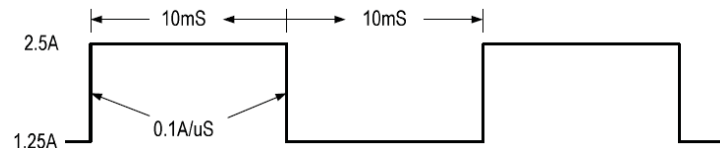


39

□名詞說明 (3/5)

5. Dynamic Response :

條件：負載設定



輸入電壓 = **36V, 48V, 56V**

觀察記錄：用數位示波器觀察輸出電壓動態響應 (**AC Coupling**)，並將波形記錄存檔。
注意量測技巧，以免探棒耦合雜訊。



40

□名詞說明 (4/5)

6. Gate Signal (Duty Control) 信號與MOSFET Voltage

條件：負載設定 = **0.2A, Boundary Current, 1.5A, 2.5A**

輸入電壓 = **48V**

觀察記錄：用數位示波器觀察**Pin 5**與**Pin 4**的電壓，並將波形記錄存檔。其中緩慢整電子負載，使達到 **CCM/DCM** 界線。觀查重點：**Duty**與負載變化的關係。



41

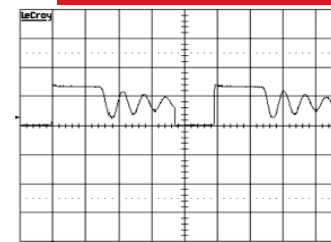
□名詞說明 (5/5)

7. Start-up :

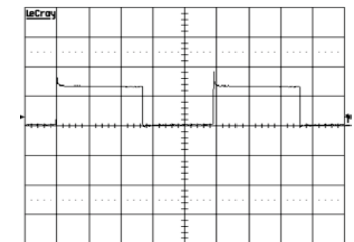
觀察從輸入電壓灌入到輸出電壓穩定的現象。

Dual Channel 量輸入與輸出電壓，以及Soft Start 功能。

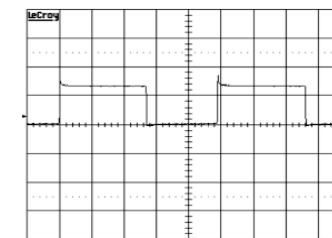
□波形圖 (1/10)



MOSFET Voltage
Vin=36V, Io=0.2A
H : 2us/div. V : 50V/div

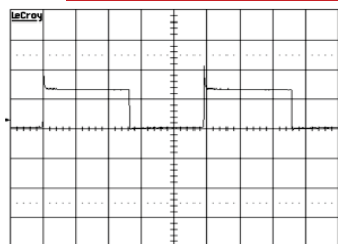


MOSFET Voltage
Vin=36V, Io=1.5A
H : 2us/div. V : 50V/div

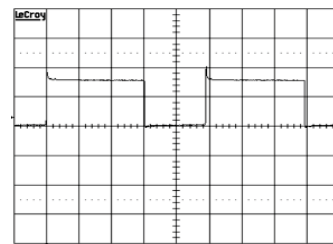


MOSFET Voltage
Vin=36V, Io=1.0A(Boundary)
H : 2us/div. V : 50V/div

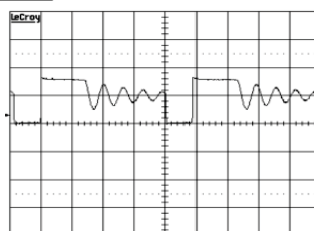
□波形圖 (2/10)



MOSFET Voltage
Vin=36V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 50V/div

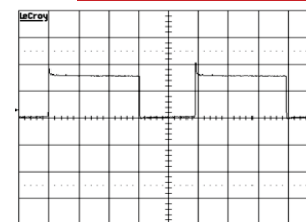


MOSFET Voltage
Vin=48V, Io=1.3A
H : 2us/div. V : 50V/div

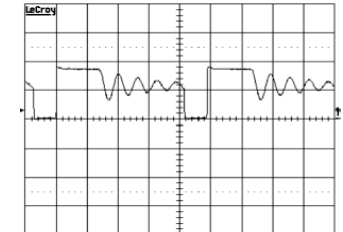


MOSFET Voltage
Vin=48V, Io=0.2A
H : 2us/div. V : 50V/div

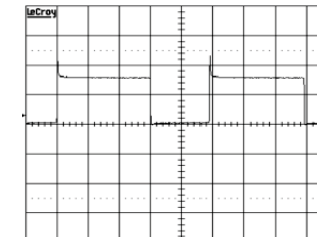
□波形圖 (3/10)



MOSFET Voltage
Vin=48V, Io=1.5A
H : 2us/div. V : 50V/div

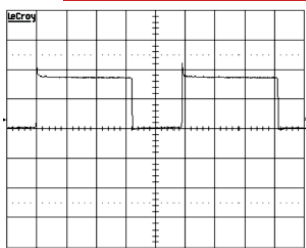


MOSFET Voltage
Vin=56V, Io=0.2A
H : 2us/div. V : 50V/div

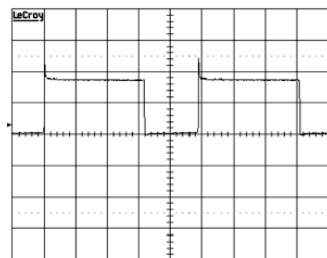


MOSFET Voltage
Vin=48V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 50V/div

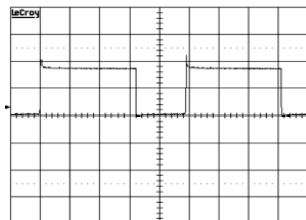
□ 波形圖 (4/10)



MOSFET Voltage
Vin=56V, Io=1.4A
H : 2us/div. V : 50V/div



MOSFET Voltage
Vin=56V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 50V/div

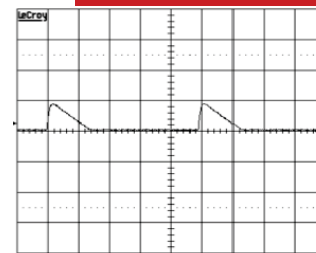


MOSFET Voltage
Vin=56V, Io=1.5A
H : 2us/div. V : 50V/div

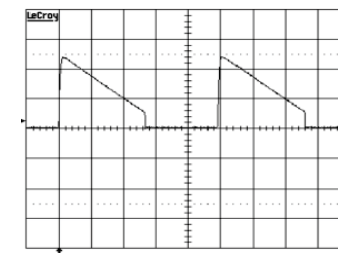


46

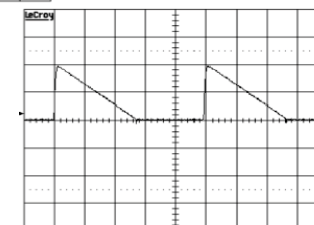
□ 波形圖 (5/10)



DIODE Current
Vin=36V, Io=0.2A
H : 2us/div. V : 2A/div



DIODE Current
Vin=36V, Io=1.5A
H : 2us/div. V : 2A/div

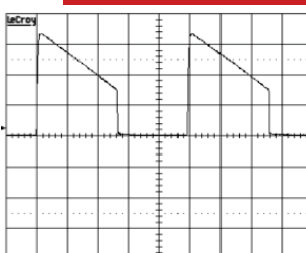


DIODE Current
Vin=36V, Io=1.0A (Boundary)
H : 2us/div. V : 2A/div

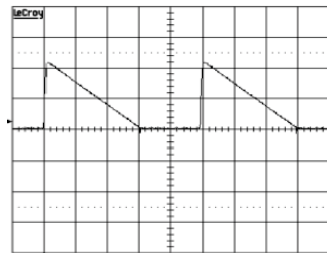


47

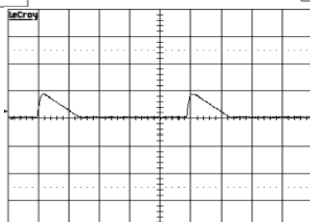
□ 波形圖 (6/10)



DIODE Current
Vin=36V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 2A/div



DIODE Current
Vin=48V, Io=1.3A (Boundary)
H : 2us/div. V : 2A/div

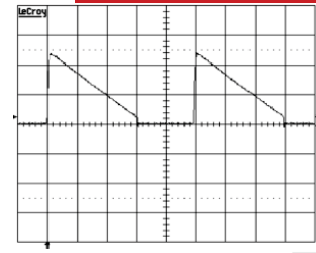


DIODE Current
Vin=48V, Io=0.2A
H : 2us/div. V : 2A/div

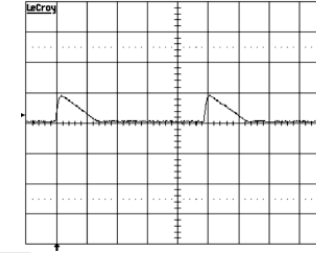


48

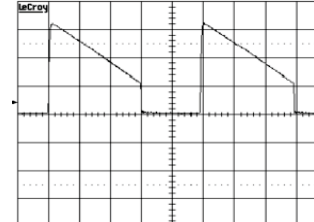
□ 波形圖 (7/10)



DIODE Current
Vin=48V, Io=1.5A
H : 2us/div. V : 2A/div



DIODE Current
Vin=56V, Io=0.2A
H : 2us/div. V : 2A/div

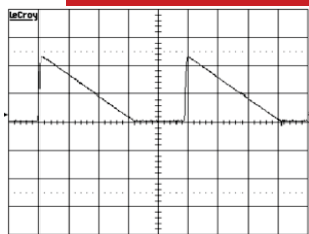


DIODE Current
Vin=48V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 2A/div

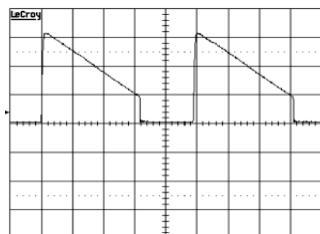


49

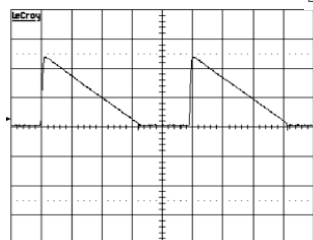
□ 波形圖 (8/10)



DIODE Current
Vin=56V, Io=1.4A
H : 2us/div. V : 2A/div



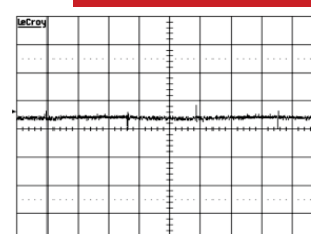
DIODE Current
Vin=56V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 2A/div



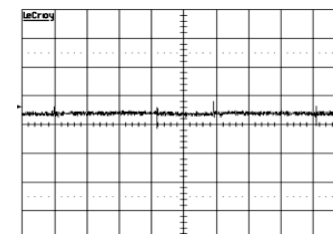
DIODE Current
Vin=56V, Io=1.5A
H : 2us/div. V : 2A/div

50

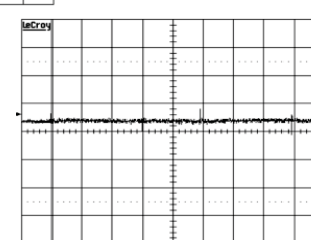
□ 波形圖 (9/10)



Output Voltage Ripple
Vin=36V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 20mV/div



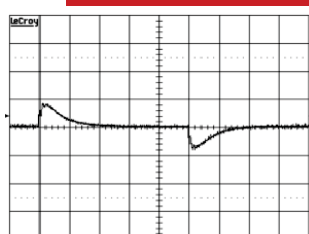
Output Voltage Ripple
Vin=56V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 20mV/div



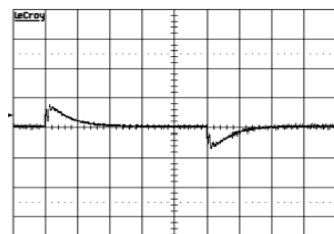
Output Voltage Ripple
Vin=48V, Io=2.5A
H : 2us/div. V : 20mV/div

51

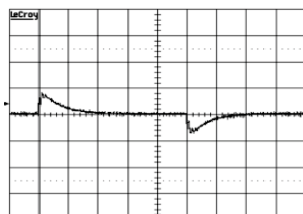
□ 波形圖 (10/10)



Output Voltage Ripple
Vin=36V, Io=1.5A~2.5A
H : 2us/div. V : 100mV/div



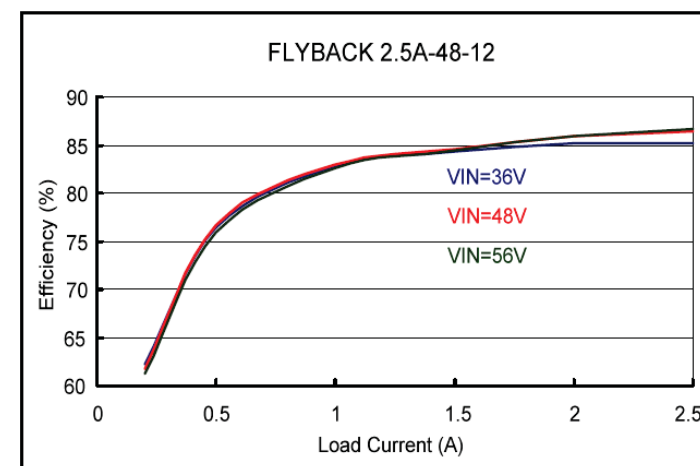
Output Voltage Ripple
Vin=56V, Io=1.5A~2.5A
H : 2us/div. V : 100mV/div



Output Voltage Ripple
Vin=48V, Io=1.5A~2.5A
H : 2us/div. V : 100mV/div

52

□ 效率曲線



53