

設計範例報告

標題	使用 HiperLCS™ LCS700HG 的 100 W 薄型 (11 mm) LLC DC-DC 轉換器
規格	380 VDC 輸入；24 V、3 A；12 V、2.32 A 輸出
應用	LCD 電視
作者	應用工程部門
文件編號	DER-282
日期	2011 年 9 月 13 日
修訂	1.2

摘要與功能

- 零件數極少
 - 低零件數和小尺寸的高度整合解決方案
 - 低價 SMD (D-PAK) 輸出二極體能免除散熱片與接合的成本
- 高操作頻率 (270 kHz) 能減省尺寸和成本
 - 能使用陶瓷輸出電容器
 - 變壓器尺寸縮小 – 採用薄型 EFD30 變壓器
 - 突波模式確保無負載調節
- 高效率
 - 100% 負載下高於 94%，50% 負載下高於 93%
 - 電容式電流感測，達成低功率消耗

專利資訊

Power Integrations 的一項或多項美國及國外專利 (或可能正在申請的美國及國外專利) 可能涵蓋本文件中所示的產品和應用 (包括產品外部的變壓器構造和電路)。www.powerint.com 上提供了 Power Integrations 專利的完整清單。Power Integrations 授予其客戶某些特定專利權的授權，詳情請參閱 <<http://www.powerint.com/ip.htm>>。

目錄

1	重要附註.....	4
2	簡介.....	5
3	電源供應器規格.....	7
4	電路圖.....	8
5	電路說明.....	9
5.1	一次側.....	9
5.2	輸出整流.....	11
6	PCB 佈局.....	12
7	物料表.....	13
8	變壓器規格.....	15
8.1	電氣圖.....	15
8.2	電氣規格.....	15
8.3	材料.....	15
8.4	變壓器建置圖.....	16
8.5	線軸 – 編號慣例.....	16
8.6	變壓器構造.....	17
8.7	繞線示意圖.....	18
9	輸出電感器規格.....	23
9.1	電氣規格.....	23
9.2	材料清單.....	23
10	LLC 諧振轉換器設計試算表.....	24
11	散熱片組裝.....	29
12	效能資料.....	30
12.1	效率 – 100%、50%、20% 及 10% 負載.....	30
12.1.1	效率資料.....	30
12.2	輸出交叉調節.....	30
12.2.1	交叉調節資料.....	30
12.3	啓動與關機大電壓.....	30
13	波形.....	31
13.1	半橋電壓和電流，標準操作.....	31
13.1.1	以 380 VDC 輸入測得.....	31
13.2	輸出電壓啓動輪廓.....	32
13.3	負載暫態反應 (380 VDC 輸入下 5% 至 100% 的負載步階).....	33
13.4	輸出電壓關閉.....	35
13.5	輸出二極體反向峰值電壓.....	36
13.6	短路.....	36
13.7	輸出漣波的測量.....	37
13.7.1	漣波測量技術.....	37
13.7.2	輸出漣波測量結果.....	38



14	溫度測量	39
14.1	條件：380 VDC，滿載，浸泡 1 小時	39
15	修訂記錄	41

重要附註：

雖然此電路板的設計滿足安全隔離需求，但其工程原型未經相關機構核准。此外，變壓器需要合適的護罩以符合一次側至鐵芯至二次側的間距。



1 重要附註

為能正常操作，電路板在介於 +380 V 輸入與直接置於端子間的輸入迴線之間，必須使用至少 10 μ F 的大電容器。

此電路板需要 12 V 外部偏壓供電以便操作。不可施加高過 15 V 的電壓，否則會損壞 IC。

此電源供應器有短路保護，但沒有輸出過壓保護。以停用 TL431 (U3) 或光耦合器 (U2) 的方式執行過壓測試，會使輸出電壓過高使得輸出蕭特基整流器 (D2-D3) 崩壞。因此，未添加過壓保護電路，不可執行此項測試。

突波模式特色可能導致輸出處的漣波電壓略為提高，一般於輕負載加高輸入電壓的條件之下發生。本設計係選用 LCS700HG 的突波模式 -2¹。

若要優化軟啓動的效能，可依照應用規格選擇適合電容 C3 的值。

本設計使用表面接合式的蕭特基二極體整流器。採用本設計時，必須審慎評估電壓調降需求。額定值較高的元件應依照調降需求加以替換。

¹ 突波模式操作的詳細資料請參閱 HiperLCS 產品規格型錄。



2 簡介

本文件為工程報告，描述運用 LCS700HG 整合式 LLC 控制/功率級 IC 的 12 V / 24 V，100 W LLC DC-DC 諧振轉換器。此電源供應器適用於有 LED 背光的 LCD TV 電路板需要 +12 VDC 和 +380 VDC 輸入。

本文件內容涵蓋電源供應器的規格、電路圖、物料表、變壓器文件、印刷電路板佈局和效能資料。

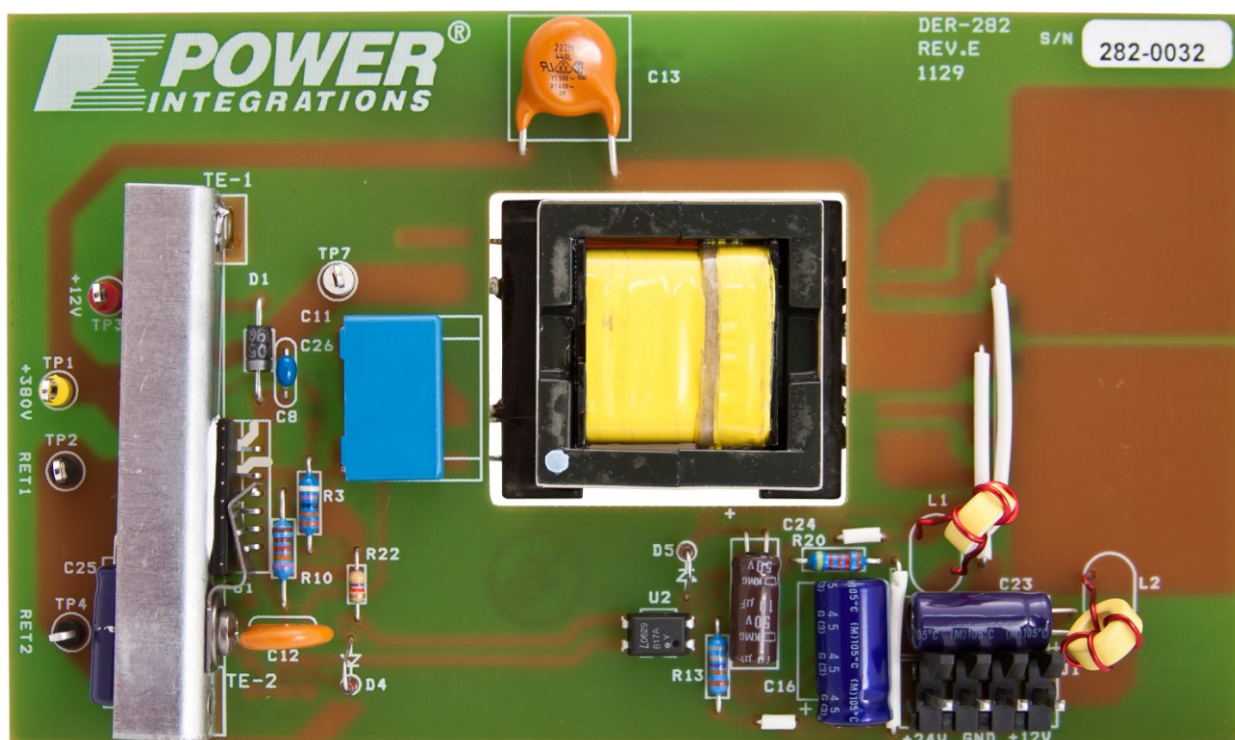


圖 1 – 植入的電路板照片，俯視圖 (長：136.27 mm x 寬：79.88 mm)。



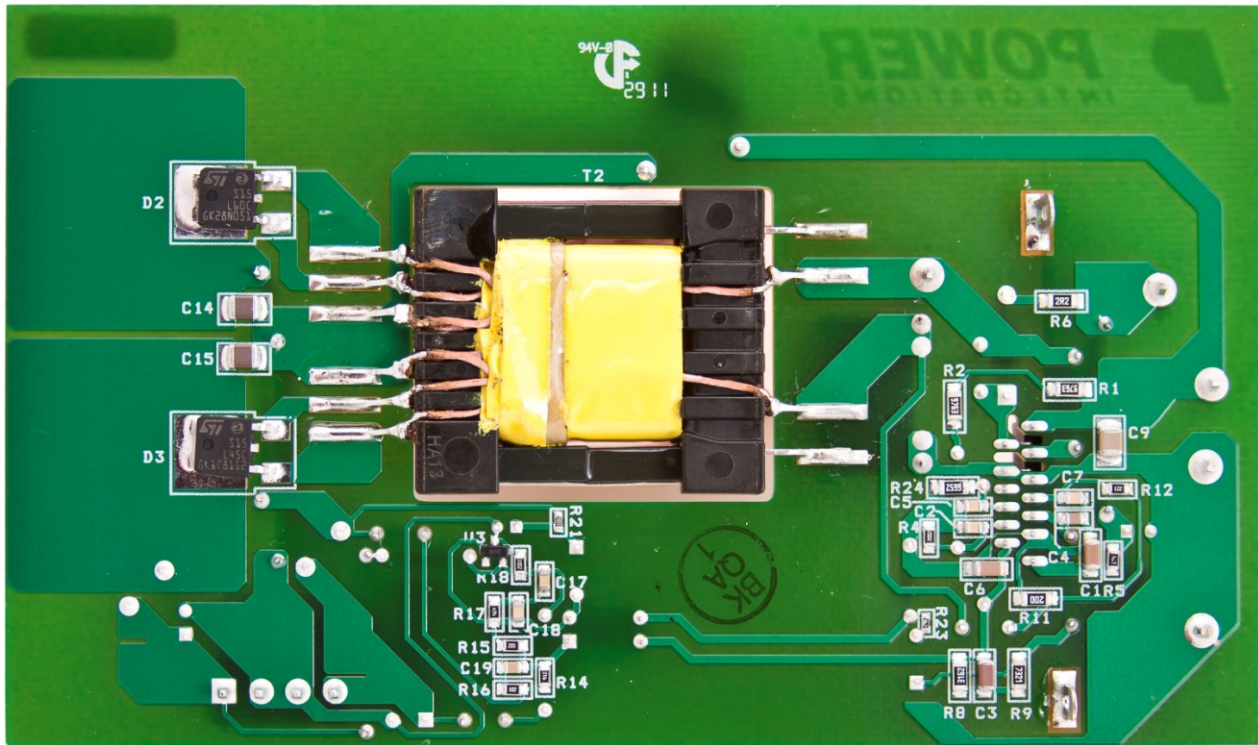


圖 2 – 植入的電路板照片，仰視圖。

3 電源供應器規格

下表展示設計的最低可接受效能。實際效能列在結果部分。

說明	符號	最小值	類型	最大值	單位	註解
輸入 電壓	V_{IN}	300	380	420	VDC	僅限 DC 輸入
輸出 輸出電壓 1	V_{OUT1}	11.4	12	12.6	V	±5%
輸出 P-P 漣波電壓 1	$V_{RIPPLE1}$			120	mV	20 MHz 頻寬
輸出電流 1	I_{OUT1}	0.01	2.33	3.00	A	兩輸出的總負載：100 W 以內
輸出電壓 2	V_{OUT2}	22.8	24	25.2	V	±5%
輸出 P-P 漣波電壓 2	$V_{RIPPLE2}$			240	mV	20 MHz 頻寬
輸出電流 2	I_{OUT2}	0.01	3.00	3.00	A	兩輸出的總負載：100 W 以內
總輸出功率 連續輸出功率	P_{OUT}			100	W	
峰值輸出功率	P_{OUT_PEAK}			100	W	
效率 20% 負載	η	89.5	90		%	DC-DC 轉換器效率目標， 在 25 °C，380 VDC 輸入下測得
50% 負載	η	93.3	94		%	DC-DC 轉換器效率目標， 在 25 °C，380 VDC 輸入下測得
100% 負載	η	94	94.5		%	DC-DC 轉換器效率目標， 在 25 °C，380 VDC 輸入下測得



4 電路圖

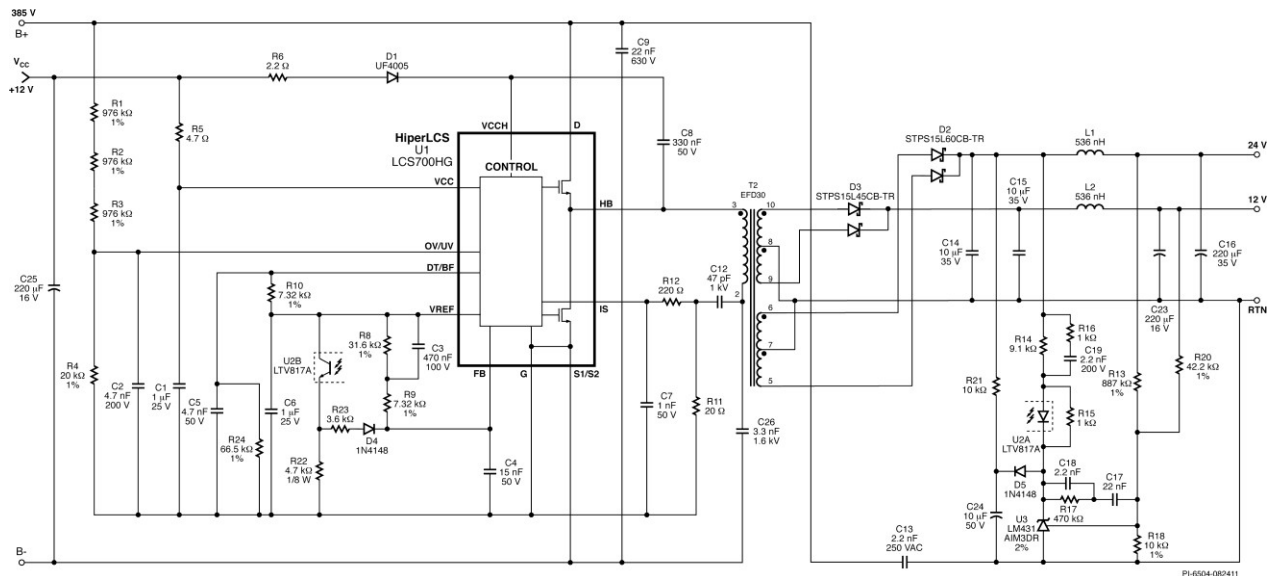


圖 3 - 電路圖。



5 電路說明

圖 3 中的電路圖說明實作 LCS700HG 裝置的 12 V/24 V、100 W LLC DC-DC 轉換器，旨在供 LCD TV 應用使用。此電路需要 +12 V 及 +380 V 輸入供電以便操作。

為能正常操作，電路板在介於 +380 V 輸入與直接置於端子間的輸入迴線之間，必須使用至少 10 μF 的大電容器。

不可對 12 V 輸入施加高過 15 V 的電壓，否則會損壞 IC。

5.1 一次側

積體電路 U1 納入 LLC 諧振半橋轉換器所需的控制電路、驅動器和輸出裝置。U1 的 HB 輸出接腳會經由阻隔/諧振電容器 (C26) 驅動輸出變壓器 T2。此電容器應依照操作漣波電流訂出額定值，同時所選的電壓額定值也必須能耐受故障狀況下存在的電壓。電容器 C26 能滿足這些需求。

變壓器 T2 具有 100 μH 漏電感的設計，配合諧振電容器 C26 可如以下公式所示將一次側串聯諧振頻率設為 ~280 kHz：

$$f_R = \frac{1}{6.28\sqrt{L_L \times C_R}}$$

其中 f_R 是以赫茲為單位的串聯諧振頻率， L_L 是以亨利為單位的變壓器漏電感， C_R 是以法拉為單位的諧振電容器 (C26) 值。

變壓器圈數比的設定方式是調整一次側圈數，使得標準輸入電壓並且滿載下的操作頻率接近、但略低於先前描述的諧振頻率。二次側圈數是在鐵芯與銅損失之間折衷之下所選定。一次側與二次側係使用 AWG #42 Litz 線。此線徑規格於 ~270 kHz 具有良好效率。各自的線股數量是在大小適合與銅損失之間求取平衡而選定。鐵芯材料為 Ferroxcube 3F3，非常適合高頻率操作。TDK PC95 的效果也很良好。從變壓器尺寸、輸出濾波器電容與效率之間看來，270 kHz 操作頻率是良好的折衷值。

元件 D1、R6 及 C8 組成自舉電路，供電給 U1 的頂端驅動器。元件 R5 及 C1 係執行 +12 V 輸入的濾波及旁路功能。R1 至 R4 的分壓器可設定 U1 的高電壓開啓與過壓的臨界值。選定的分壓器值可設定 360 VDC 下的 LLC 開啓臨界值，以及 285 VDC 下的關閉臨界值，其中標準輸入過壓為 473 VDC。

電容器 C9 為 +380 V 輸入的高頻率旁路電容器。



電容器 C12 與 C26 組成分流器，用於對一次側電流的一部分取樣。以電阻器 R11 感測此電流，產生的訊號由 R12 及 C7 濾波。電容器 C12 應依照故障狀況下的峰值電壓訂定額定值，並應使用穩定的低損失電介質，例如薄膜或 NPO/COG 陶瓷。選定的值可如以下公式所示設定 ~3.2 A 的 1 圈 (快速) 限電流，與 ~1.8 A 的 8 圈 (慢速) 限電流。

$$I_{CL} = \frac{0.5}{\left(\frac{C12}{C26 + C12}\right)}(R11)$$

I_{CL} 是以安培為單位的 8 圈限電流，R11 為歐姆，C26 及 C12 分別是諧振值和以毫微法拉為單位的電流取樣電容器。至於單圈限電流，請在上述公式中將分子以 0.9 V 取代 0.5 V。

電阻器 R12 和電容器 C7 將一次側電流訊號濾波至 IS 接腳。電阻器 R12 設為最大容許電阻 220Ω。C7 的值設為 1 nF 以免因雜訊而產生錯誤動作，但不致於高到大幅影響依以上方式計算的限電流設定值。這些元件應直接置於 IS 接腳，以得到最高效用。

電阻器 R10 可設定停滯時間為 320 ns。FEEDBACK (FB) 接腳具有入至 FB 接腳每 μA 2.6 kHz 的近似特性。驅入 FB 接腳的電流會提高 U1 的操作頻率，因而降低輸出電壓。R8 與 R9 的串聯組合可設定 U1 的最低操作頻率。此值一般設為比以輸出滿載且大電容器最低電壓進行調節所需的頻率略低的值。電阻器 R8 由 C3 執行旁路功能，藉由當回授迴路開啓時，起初允許較高的電流流入 FB 接腳，達成啓動過程的輸出軟啓動。這會造成切換頻率開始時高之後降低，至輸出電壓調節穩定為止。電阻器 R9 一般設為與 R10 等值，以便軟啓動時的初始頻率等於以 R10 所設的最高切換頻率。R9 值若低於 R10 可導致開始切換之前有所延遲。

光耦合器 U2 可驅動 IC U1 的回授接腳。電容器 C4 能為 FB 接腳濾波。為 C4 選定的是 15 nF 電容器，以防止 FB 接腳上的雜訊耦合，導致一次側工作週期不對稱。將 C4 增加到極高的值通常會導致不穩定。

電阻器 R22 提供光耦合器上的負載，並會加速突波模式下的大訊號暫態反應。建議值為 ~4.7 kΩ。二極體 D4 能防止光耦合器切斷時 R22 載入 R8。電阻器 R23 可改善 ESD 與 PSU 的突波耐受性。它也可以改善突波模式的輸出漣波電壓。當光耦合器在飽和狀態且 FB 接腳在 2.0 V 時，其最大值必須是 FB 接腳電流等於 DT/BF 接腳電流 (請參閱 PIXIs HiperLCS 試算表)。這樣可確保如果 HiperLCS 並未結束啓動模式 (因為回授迴路不允許切換頻率降至低於 F_{STOP})，就能在輕載情況下利用於 F_{MAX} 產生突波進行調節。



突波模式期間，傳動元件可能發生 ZVS 部分損失 (ZVS 不完整)。如果大半的切換脈衝喪失 ZVS，會影響效率。有時在某些範圍的線間電壓與負載內，可明顯察覺效率降低。此情形可發生在「突波工作週期」高 (15~30%)，大多數的脈衝明顯喪失 ZVS 時。遇到高輸入電壓加上輕負載 (例如 1% 負載，420 VDC) 時會有加劇的趨勢。ZVS 損失可導致裝置過熱、關閉甚至損壞。若縮短停滯時間 (增加 F_{MAX}) 以及增加 F_{START} 會使情況加劇，因為提高操作頻率會使變壓器的磁化電流降低，造成變壓器內部所儲存，用以將 MOSFET 輸出電容 (C_{OSS}) 充放電的能量減少。在實際應用的設計中，PFC 輸出電壓不會無止盡地維持異常的高值，而是會在發生負載傾倒時，短時間過後即恢復標準值。因此在檢查突波模式之下的 ZVS 損失時，僅需考量最高標準 PFC 輸出電壓。

5.2 輸出整流

變壓器 T2 的輸出經過二極體 D2 和 D3 以及電容器 C14 和 C15 的整流和濾波。這些電容器是 X5R 電介質，是依照輸出漣波電流額定值所精心選擇。標準 Z5U 電介質電容器於本應用中不起作用。其他輸出濾波是由 L1、L2、C16 及 C23 所完成。電阻器 R13、R20 及 R18 連同 U3 參考電壓可設定供電的輸出電壓。電壓感測電阻器設定成爲以 12 V 輸出主宰整體調節。誤差放大器 U3 經由 R14 驅動回授光耦合器 U2。元件 C17-19 及 R14-17 決定轉換器的增益-相位特性。



想要更多資訊？

用您的智慧型手機以及從 www.neoreader.com 獲得的免費軟體 (或從您智慧型手機的 App Store 下載任何其他免費 QR Code Reader)，即可連線至我們的網站以取得更多相關內容。



6 PCB 佈局

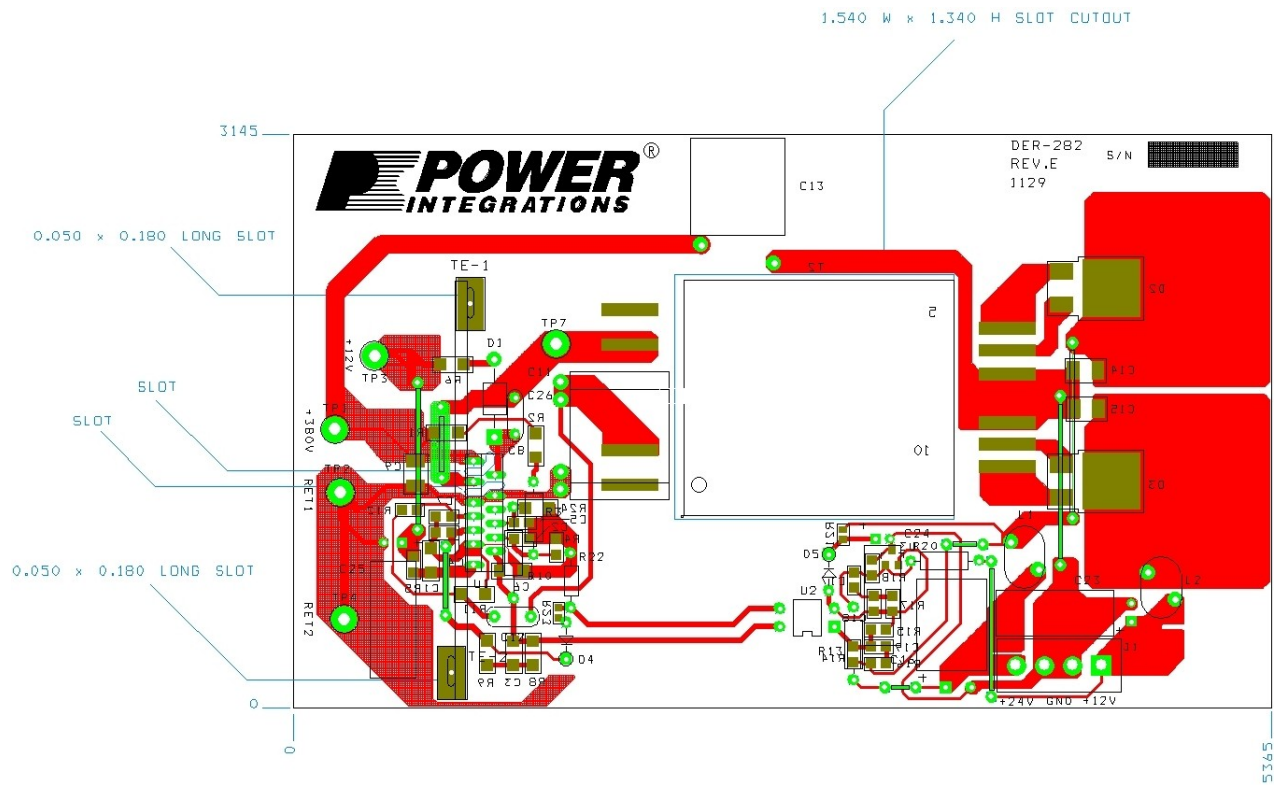


圖 4 – 印刷電路板佈局。

7 物料表

項目	數量	參考說明	說明	製造商零件編號	製造商
1	2	C1 C6	1 μ F、25 V、陶瓷、X7R、1206	C3216X7R1E105K	TDK
2	1	C2	4.7 nF、200 V、陶瓷、X7R、0805	08052C472KAT2A	AVX
3	1	C3	470 nF、100 V、陶瓷、X7R、1206	C3216X7R2A474K	TDK
4	1	C4	15 nF、50 V、陶瓷、X7R、0805	ECJ-2VB1H153K	Panasonic
5	1	C5	4.7 nF、50 V、陶瓷、X7R、0805	ECJ-2VB1H472K	Panasonic
6	1	C7	1 nF、50 V、陶瓷、X7R、0805	ECJ-2VB1H102K	Panasonic
7	1	C8	330 nF、50 V、陶瓷、X7R	B37984M5334K000	Epcos
8	1	C9	22 nF、630 V、陶瓷、X7R、1210	GRM32QR72J223KW01L	Murata
9	1	C12	47 pF、1,000 V、盤式陶瓷	561R10TCCQ47	Vishay
10	1	C13	2.2 nF、陶瓷、Y1	440LD22-R	Vishay
11	2	C14 C15	10 μ F、35 V、陶瓷、X5R、1210	GMK325BJ106KN-T	Taiyo Yuden
12	1	C16	220 μ F、35 V、電解、低 ESR、90 m Ω 、(8 x 15)	ELXZ350ELL221MH15D	Nippon Chemi-Con
13	1	C17	22 nF、200 V、陶瓷、X7R、0805	08052C223KAT2A	AVX
14	1	C18	2.2 nF、200 V、陶瓷、X7R、0805	08052C222KAT2A	AVX
15	1	C19	2.2 nF、50 V、陶瓷、X7R、0805	ECJ-2VB1H222K	Panasonic
16	2	C23 C25	220 μ F、16 V、電解、低 ESR、180 m Ω 、(6.3 x 15)	ELXZ160ELL221MF15D	Nippon Chemi-Con
17	1	C24	10 μ F、50 V、電解、一般用途、(5 x 11)	EKMG500ELL100ME11D	Nippon Chemi-Con
18	1	C26	3.3 nF、1,600 V、薄膜	B32652J1332J	Epcos
19	1	D1	600 V、1 A、超快速恢復型、75 ns、DO-41	UF4005-E3	Vishay
20	1	D2	60 V、7.5 A、蕭特基、SMD、DPAK	STPS15L60CB-TR	ST
21	1	D3	45 V、7.5 A、雙蕭特基、TO-252AA (D-PAK)	STPS15L45CB-TR	ST
22	2	D4 D5	75 V、300 mA、快速切換、DO-35	1N4148TR	Vishay
23	1	ESIPCLIP M4 METAL1	散熱片硬體、邊緣夾， 長 20.76 mm x 寬 8 mm x 厚 0.015 mm	NP975864	Aavid Thermalloy
24	1	GREASE1	散熱膏，矽膠，5 oz 管狀	CT40-5	ITW Chemtronics
25	1	HS1	散熱片，自訂，鋁，3003，厚 0.62		自訂
26	1	J1	4 位置 (1 x 4) 排針座，0.156 間距，垂直	26-48-1045	Molex
27	4	JP1 JP2 JP3 JP4	跳線器，[高溫，例如鐵氟龍] 絕緣，#22 AWG，1 in	2855/1 WH005	AlphaWire
28	2	JP5 JP6	跳線器，[高溫，例如鐵氟龍] 絕緣，#22 AWG， 12.70 mm	2855/1 WH005	AlphaWire
29	2	JP7 JP8	跳線器，[高溫，例如鐵氟龍] 絕緣，#22 AWG， 6.35 mm	2855/1 WH005	AlphaWire
30	2	L1 L2	536 nH，粉狀鐵環，2 接腳，輸出		
31	1	NUT1	六角螺帽，Kep 4-40，S ZN 鍍 Cr3， 符合 RoHS 標準	4CKNTZR	任何符合 RoHS 標準的製造商
32	2	R1 R2	976 k Ω 、1%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8ENF9763V	Panasonic
33	1	R3	976 k Ω 、1%、1/4 W、金屬薄膜	MFR-25FBF-976K	Yageo
34	1	R4	20 k Ω 、1%、1/8 W、厚膜、1206	ERJ-6ENF2002V	Panasonic
35	1	R5	4.7 Ω 、5%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6GEYJ4R7V	Panasonic
36	1	R6	2.2 Ω 、5%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8GEYJ2R2V	Panasonic
37	1	R8	31.6 k Ω 、1%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8ENF3162V	Panasonic
38	1	R9	7.32 k Ω 、1%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8ENF7321V	Panasonic
39	1	R10	7.32 k Ω 、1%、1/4 W、金屬薄膜	MFR-25FBF-7K32	Yageo
40	1	R11	20 Ω 、5%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8GEYJ200V	Panasonic
41	1	R12	220 Ω 、5%、1/8 W、厚膜、0805	ERJ-6GEYJ221V	Panasonic
42	1	R13	887 k Ω 、1%、1/4 W、金屬薄膜	MFR-25FBF-887K	Yageo



43	1	R14	9.1 k Ω 、5%、1/8 W、厚膜、1206	ERJ-6GEYJ912V	Panasonic
44	2	R15 R16	1 k Ω 、5%、1/8 W、厚膜、1206	ERJ-6GEYJ102V	Panasonic
45	1	R17	470 k Ω 、5%、1/8 W、厚膜、1206	ERJ-6GEYJ474V	Panasonic
46	1	R18	10 k Ω 、1%、1/8 W、厚膜、1206	ERJ-6ENF1002V	Panasonic
47	1	R20	42.2 k Ω 、1%、1/4 W、金屬薄膜	MFR-25FBF-42K2	Yageo
48	1	R21	10 k Ω 、5%、1/10 W、厚膜、0603	ERJ-3GEYJ103V	Panasonic
49	1	R22	4.7 k Ω 、5%、1/8 W、碳膜	CFR-12JB-4K7	Yageo
50	1	R23	3.6 k Ω 、5%、1/10 W、厚膜、0603	ERJ-3GEYJ362V	Panasonic
51	1	R24	66.5 k Ω 、1%、1/4 W、厚膜、1206	ERJ-8ENF6652V	Panasonic
52	1	SCREW1	十字機械螺絲 4-40 X 1/4 SS	PMSSS 440 0025 PH	Building Fasteners
53	1	T2	自訂變壓器，EFD30，水平， 10 個接腳 (4 一次側 x 6 二次側)		Power Integrations
54	1	TE1 TE2	終端、孔眼、鍍錫銅、Zierick PN 190	190	Zierick
55	1	TP1	測試點，YEL、穿孔式接合	5014	Keystone
56	2	TP2 TP4	測試點，BLK、穿孔式接合	5011	Keystone
57	1	TP3	測試點，RED、穿孔式接合	5010	Keystone
58	1	TP7	測試點，WHT、穿孔式接合	5012	Keystone
59	1	U1	HiperLCS，ESIP16/13	LCS700HG	Power Integrations
60	1	U2	光耦合器，35 V，CTR 80-160%，4 -DIP	LTV-817A	Liteon
61	1	U3	IC，積納二極體分流調整器 ADJ SOT-23	LM431AIM3/NOPB	National Semi
62	1	WASHER1	平墊圈 #4 SS	FWSS 004	Building Fasteners



8 變壓器規格

8.1 電氣圖

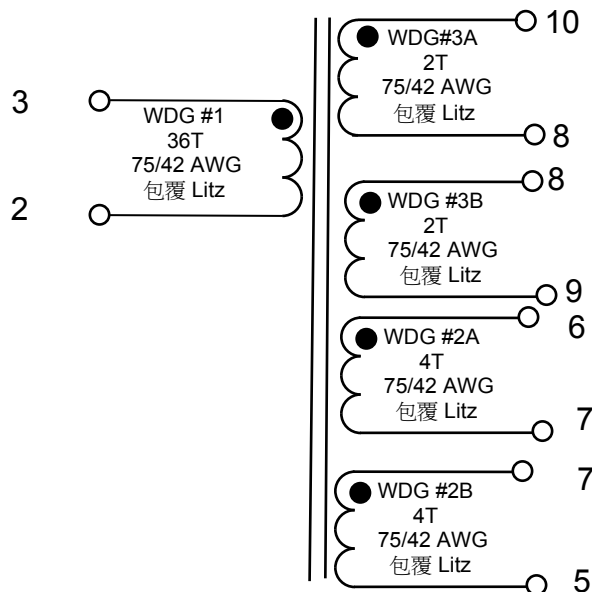


圖 5 – 變壓器電氣圖。

8.2 電氣規格

電氣強度	1 秒，60 Hz，從 3-2 到 6-10	500 VAC
一次側電感	接腳 3-2，所有其他繞組為開路情況下，在 100 kHz， $0.4 V_{RMS}$ 條件下測量	$440 \mu H \pm 5\%$
諧振頻率	接腳 3-2，所有其他繞組開路	1400 kHz (最低)
一次側漏電感	接腳 3-2，其中接腳 5、6、7、8、9 及 10 短路，於 100 kHz， $0.4 V_{RMS}$ 下測得	$100 \mu H$

8.3 材料

項目	說明
[1]	鐵芯對組：EFD30 Ferroxcube 3F3 材料或等效品。
[2]	線軸：EFD30 水平，10 接腳 (4 一次側 x 6 二次側) 自訂 SMT 線軸。
[3]	膠帶：聚酯纖維網布：3M #44 或等效品，寬 3.0 mm。
[4]	膠帶：聚酯纖維膠膜，3M 1350F-1 或等效，12.2 mm 寬。
[5]	膠帶：聚酯纖維膠膜，3M 1350F-1 或等效，5 mm 寬。
[6]	磁線：75/#42 單塗層包覆 Litz 線。
[7]	變壓器凡立水，Dolph BC-359 或等效。

注意：變壓器可能需要針對部分應用重新設計，以符合安全需求。



8.4 變壓器建置圖

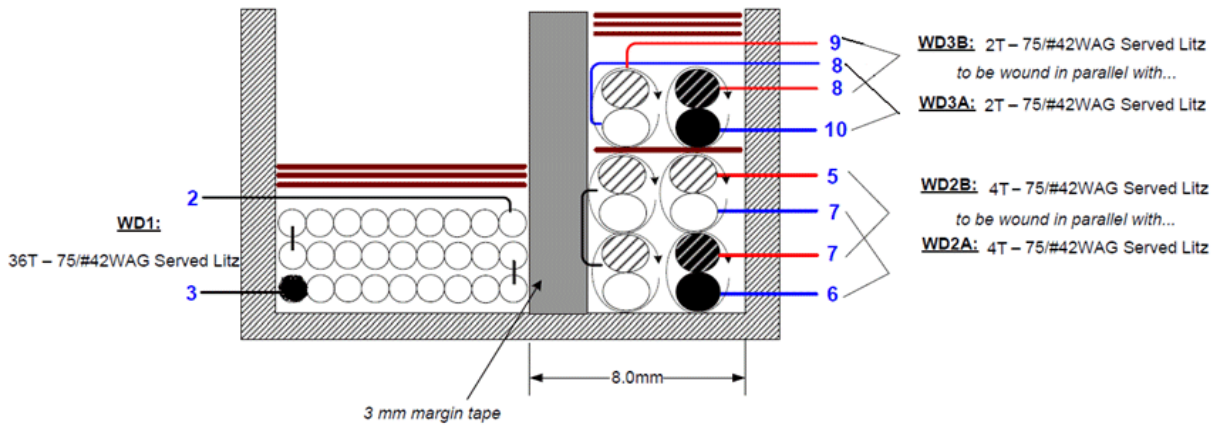


圖 6 – 變壓器建置圖。

8.5 線軸 – 編號慣例

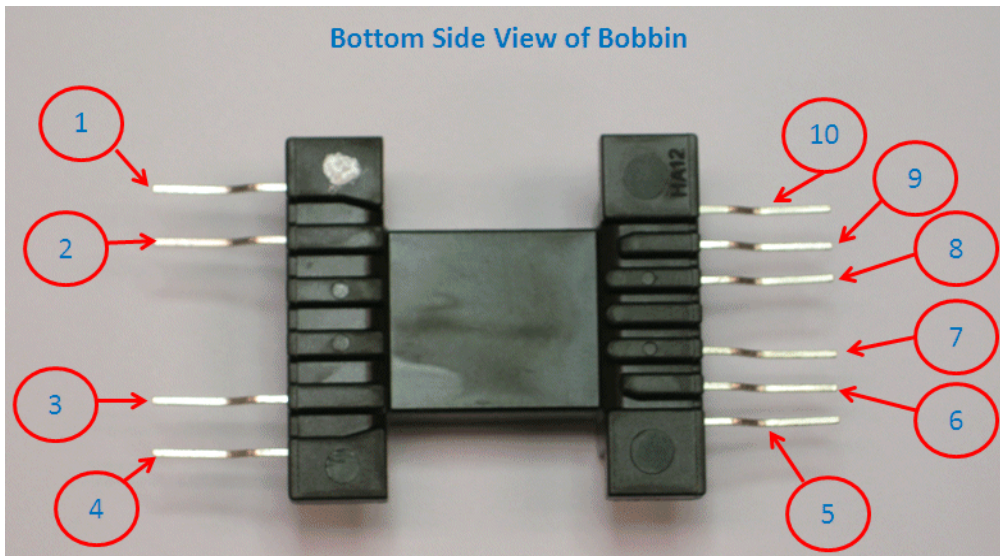


圖 7 – 線軸接腳慣例。

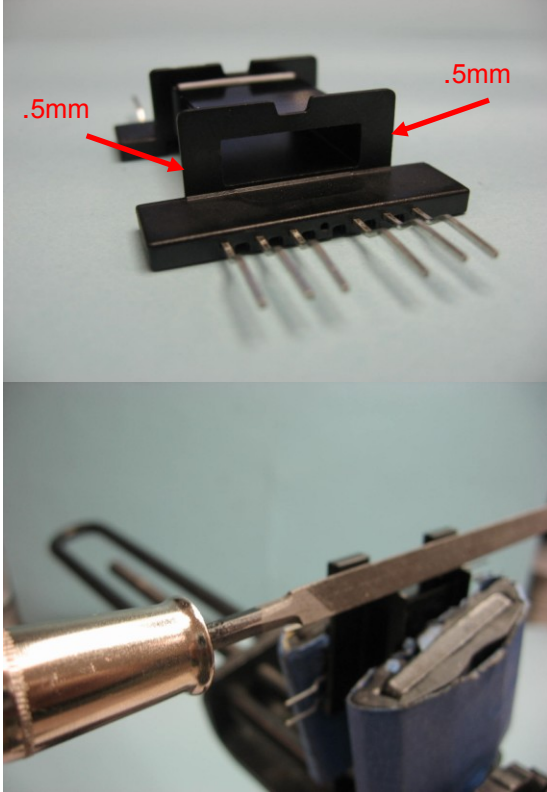
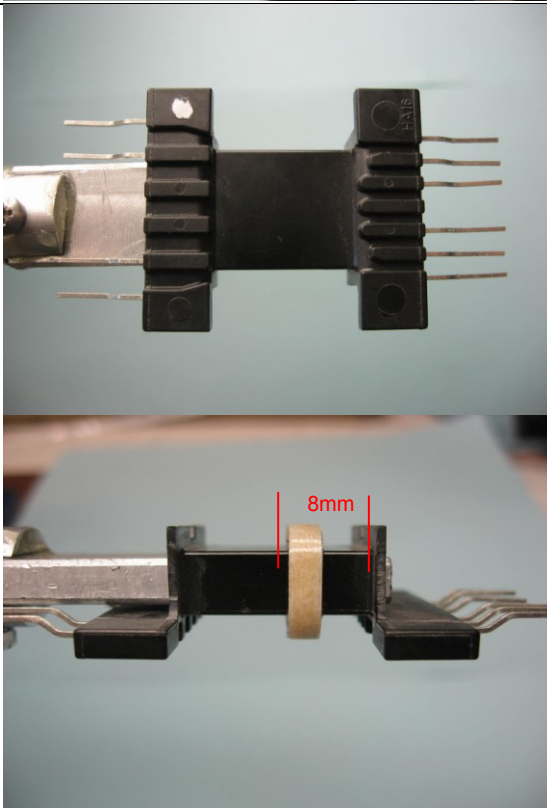


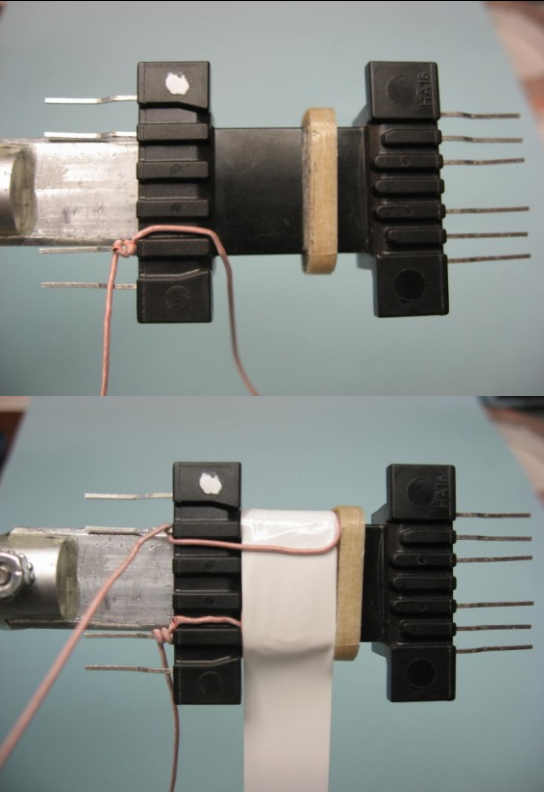
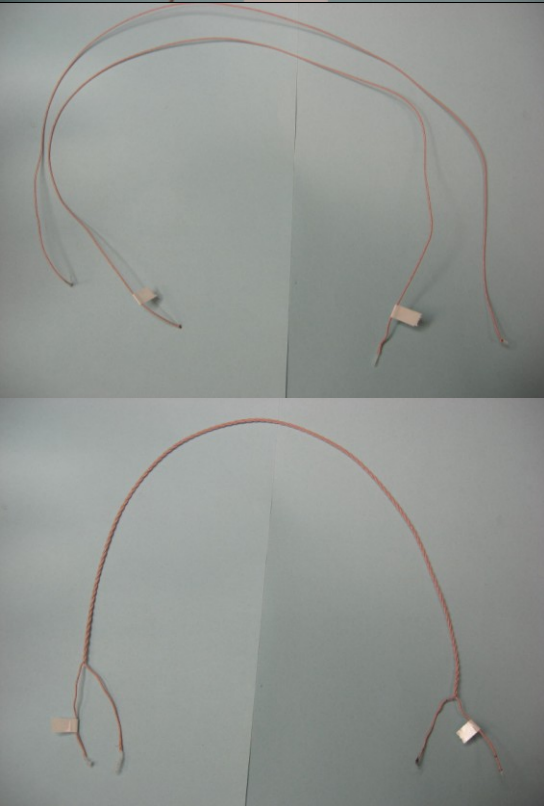
8.6 變壓器構造

繞線準備	為能妥善裝配鐵芯半側，請用小銼刀將一次側與二次側兩者之上短凸緣的線軸材質削去約 0.5 mm。如圖所示在線軸右側加上擋牆膠帶 [3]，膠帶最左側與線軸右側距離 8 mm。
WD1 (一次側)	從所示的位置開始，將線軸左側的 36 圈的 Litz 線 [6] 繞 ~ 3 層。用 1 層膠帶 [4] 固定繞組。
二次側線材的準備	準備端頭為錫，長 15” 的 Litz 線材 [6] 2 股，將這 2 股線沿著長端均勻相捻出 ~65 個扭結，兩端各留出 1”。這條纜線的一端即為 6 及 7，另一端為 7 及 5。
WDG2A 及 WDG2B (二次側)	如圖所示從 6 及 7 開始，在擋牆膠帶與線軸右側之間的區段繞 4 圈，如圖示到 7 及 5 結束。
絕緣	用一圈膠帶固定繞組 [5]。
二次側線材的準備	準備端頭為錫，長 7.5” 的 Litz 線 2 股 [6]。將這 2 股線沿著長端均勻相捻出 ~30 個扭結，兩端各留出 1”。這條纜線的一端即為 10 及 8，另一端為 8 及 9。
WDG3A 及 WDG3B (二次側)	如圖所示從 10 及 8 開始，在擋牆膠帶與線軸右側之間的區段繞 2 圈，如圖示到 8 及 9 結束。
絕緣	貼 1 層膠帶 [5] 以固定繞組。
完成	將一個鐵芯半側中央的腳加以研磨，使接腳 2 與 3 之間的電感成為 440 μ H \pm 5%。將鐵芯半側與鐵芯相組裝，其中研磨過的中央腳位在線軸的一次側。浸凡立水 (項目 [7])。



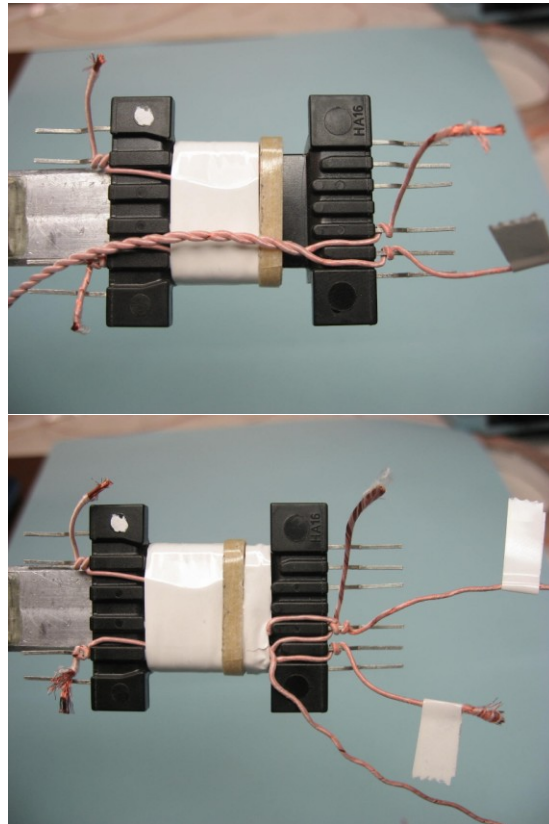
8.7 繞線示意圖

<p>線軸準備工作</p>		<p>為能妥善裝配鐵芯半側，請用小銼刀將一次側與二次側兩者之上短凸緣的線軸材質削去約 0.5 mm。</p>
<p>屏障膠帶</p>		<p>將線軸項目 [2] 放置在軸心上，使得接腳 1 位於左側。</p> <p>從二次側的凸緣量出 8 mm，繞 20 圈 3 mm 屏障膠帶 [3]。膠帶高度應與線軸凸緣高度齊平。</p>

<p>WD1 (一次側)</p>		<p>從接腳 3 開始，繞 36 圈有包覆的 Litz 線材 [6] 成爲 3 層，到接腳 2 結束。用三圈膠帶固定繞組 [4]。</p>
<p>WD2 的準備</p>		<p>取兩股有包覆的 Litz 線 [6]，各剪成 15 英寸長。將一股線的兩端用膠帶或其他標示材料做出標記。將兩股相捻成 ~65 個扭結。兩端各留出約一英寸。</p>

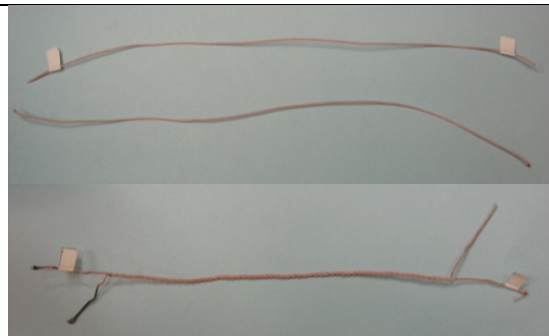


WD2A 和 WD2B
(二次側)

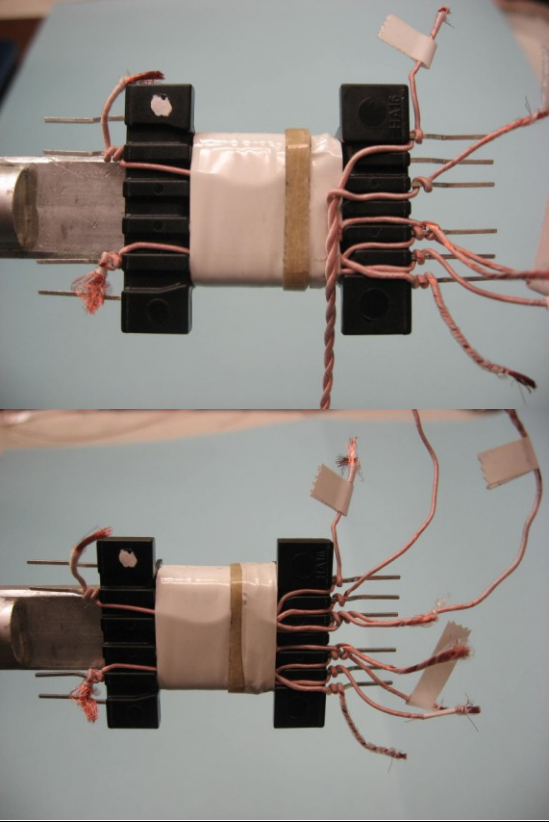
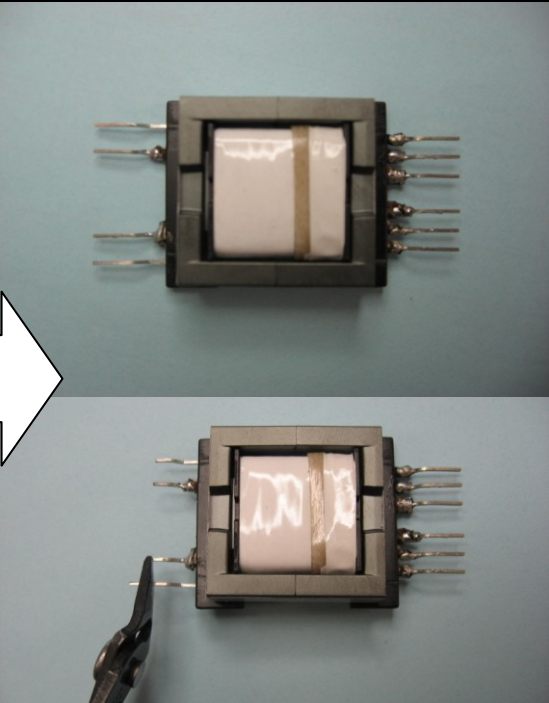


利用上一步驟準備的有包覆 Litz 線組裝件，從接腳 6 有標示的一端與接腳 7 無標示的一端開始繞 4 圈。到接腳 7 有標示的一端與接腳 5 無標示的一端結束。用一圈膠帶固定繞組 [5]。

WD3 的準備

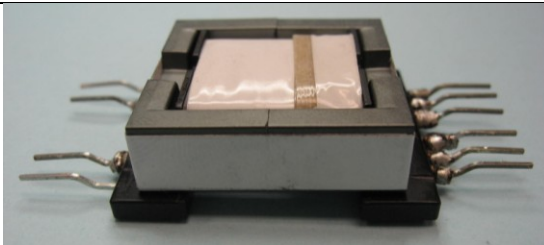


取兩股有包覆的 Litz 線 [6]，各剪成 7 英寸長。將一股線的兩端用膠帶或其他標示材料做出標記。將兩股相捻成 ~30 個扭結。兩端各留出約一英寸。

<p>WD3A 和 WD3B (二次側)</p>		<p>利用上一步驟準備的有包覆 Litz 線組裝件，從接腳 10 有標示的一端與接腳 8 無標示的一端開始繞 2 圈。到接腳 8 有標示的一端與接腳 9 無標示的一端結束。用三圈膠膠帶固定繞組 [5]。</p>
<p>完成</p> <p>插入鐵芯，其中研磨過的中央腳位在線軸的左側。</p>		<p>焊接線材的所有終端。</p> <p>將一個鐵芯半側中央的腳加以研磨 [1]，使接腳 2 與 3 之間的電感成爲 $440 \mu\text{H} \pm 5\%$。將鐵芯半側組裝並且固定，其中研磨過的鐵芯位在一次側 (圖中的左側)。</p> <p>將線軸的各個接腳修去 3.5 mm。</p>



完成 (續上頁)



浸凡立水 [7]。



9 輸出電感器規格

電感器 L1 與 L2 為 Micrometals T30-26 粉狀鐵環上的各 4 圈 #22 AWG 磁線。

9.1 電氣規格

電感	接腳 FL1–FL2，所有其他繞組為開路情況下， 在 100 kHz，0.4 V _{RMS} 條件下測得	536 nH，±15%
----	--	-------------

9.2 材料清單

項目	說明
[1]	粉狀鐵環形鐵芯：Micrometals T30-26
[2]	磁線：#22 AWG，可焊接雙塗層



10 LLC 諧振轉換器設計試算表

HiperLCS_041311 ; 修訂版 1.0 ; Copyright Power Integrations 2011	輸入	資訊	輸出	單位	HiperLCS_041311_Rev1-0.xls ; HiperLCS 半橋；連續模式 LLC 諧振轉換器設計試算表
輸入「輸入參數」					
VBULK_NOM			380	V	標準 LLC 輸入電壓
Vbrownout			280	V	電壓關閉臨界值電壓。HiperLCS 會在壓降低於此值時關閉。允許的值介於 VBULK_NOM 的 65% 至 76% 之間。最大維持時間設為 65%
Vbrownin			353	V	大電容器的啟動臨界值
VOV_shut			465	V	大電壓的 OV 保護
VOV_restart			448	V	OV 保護後的重新啟動電壓
CBULK			69	uF	達到維持時間需求的大電容器最小值；調整維持時間和 Vbulkmin 以變更大電容器值
tHOLDUP			21.8	ms	大電容器維持時間
輸入 LLC (二次側) 輸出					試算表假設了二次側 AC 堆疊
VO1	12.00		12.0	V	主輸出電壓。試算表假設此為調節輸出
IO1	2.32		2.3	A	主輸出最大電流
VD1	0.60		0.60	V	主輸出中的二極體順向電壓
PO1			28	W	一次側 LLC 輸出的輸出功率
VO2	24.00		24.0	V	二次側輸出電壓
IO2	3.00		3.0	A	二次側輸出電流
VD2	0.60		0.60	V	二次側輸出中的二極體順向電壓
PO2			72.00	W	二次側 LLC 輸出的輸出功率
P_LLC			100	W	指定的 LLC 輸出功率
LCS 裝置選擇					
裝置	自動		LCS700		LCS 裝置
RDSON (最大值)			2.78	Ω	所選裝置的 RDSON (最大值)
Coss			125	pF	所選裝置的等效 Coss
Cpri			40	pF	變壓器一次側雜散電容
PCOND_LOSS			1.3	W	標準線間電壓與滿載時的導通損失
TMAX_HS			90	deg C	最大散熱片溫度
Theta J-HS			10.1	deg C/W	接面至散熱片熱阻 (使用散熱膏而非絕緣墊)
預期的接面溫度			103	deg C	預期的接面溫度
Ta 最大值			50	deg C	預期的最大環境溫度
Theta HS-A			31	deg C/W	環境所需的熱阻散熱片
LLC 諧振參數和變壓器計算 (產生紅色曲線)					
Po			103	W	包含二極體損失在內，來自 LLC 轉換器的輸出
Vo			12.60	V	變壓器繞組主要輸出 (包含二極體壓降)
f_target			250	kHz	所需的 PFC 和 LLC 滿載切換頻率。66 kHz 至 300 kHz，建議為 250 kHz
Lpar			340	uH	並聯電感。(整合式變壓器為 Lpar = Lopen - Lres；非整合式低漏電變壓器為 Lpar = Lmag)
Lpri	440.00		440	uH	整合式變壓器一次側開路電感；對於低漏電變壓器則為一次側電感和串聯電感器的總和。若維持空白，自動計算顯示會在 Vnom 的 80% 時 ZVS 損失的必要值
Lres	100.00		100.0	uH	整合式變壓器的串聯電感或一次側漏電感；如果留白，自動計算適用於 K=4
Kratio			3.4		Lpar 對 Lres 比率。保持 K 值，使 2.1 < K < 11。偏好的 Lres 則為 K<7
Cres	3.30		3.3	nF	串聯諧振電容器。紅色背景儲存格產生紅色圖表。若 Lpar、Lres、Cres 和 n_RATIO_red_graph 皆留空，則將會自動計算



Lsec			1.358	uH	主要輸出一個相位的二次側電感；測量並輸入或調整值，直到 f_predicted 與所測量的結果相符
m			50	%	漏電分佈係數 (一次側至二次側)。99% 表示漏電多半在一次側
n_eq			15.82		LLC 等效電路理想變壓器之圈數比
Npri	36.0		36.0		一次側圈數；如果輸入為留白，預設值將自動計算使得 f_predicted = f_target
Nsec	2.0		2.0		二次側圈數 (主輸出的每個相位)。預設值依保持 BAC<=2000 高斯所估算
f_predicted			247	kHz	標準輸入電壓和滿載下的預期頻率；深受 n_Ratio 和一次側圈數影響
f_res			277	kHz	串聯諧振頻率 (由串聯電感 Lres 和 C 所定義)
f_brownout			192	kHz	VBULK_MIN 、滿載時的切換頻率
f_par			132	kHz	並聯諧振頻率 (由 Lpar + Lres 和 C 所定義)
f_inversion			179	kHz	在 Vbrownout 和滿載時的最小頻率。請將 HiperLCS 的最小頻率設為此值。此頻率以下的操作將導致在增益反向區內不操作
Vinversion			252	V	在低頻增益反向點之前，LLC 傳動元件的最小輸入電壓。最佳值等於 Vbrownout
有效值電流和電壓					
IRMS_LLC_Primary			0.68	A	滿載和標準輸入電壓 (Vbulk) 和 fnominal_actual 下的一次側繞組有效值電流
繞組 1 (較低二次側電壓) 有效值電流			4.1	A	繞組 1 (較低二次側電壓) 有效值電流
較低二次側電壓電容器的有效值電流			1.1	A	較低二次側電壓電容器的有效值電流
繞組 2 (較高二次側電壓) 有效值電流			2.3	A	繞組 2 (較高二次側電壓) 有效值電流
較高二次側電壓電容器的有效值電流			1.4	A	較高二次側電壓電容器的有效值電流
Cres_Vrms			133	V	滿載和標準輸入電壓下的諧振電容器的 AC 有效值電壓
虛擬變壓器試驗 - (產生藍色曲線)					
新的一次側圈數			36.0		試驗變壓器一次側圈數；預設值來自諧振區段
新的二次側圈數			2.0		試驗變壓器二次側圈數；預設值來自諧振區段
新的 Lpri			440	uH	試驗變壓器開路電感；預設值來自諧振區段
新的 Cres	3.30		3.3	nF	串聯電容器的試驗值 (如果將所選的經過計算的值留白，則 f_res = f_target)
新的估計 Lres			100.0	uH	試驗變壓器的估計 Lres
新的估計 Lpar			340	uH	試驗變壓器的 Lpar 估計值
新的估計 Lsec			1.358	uH	二次側漏電感估計值
新的 Kratio			3.4		試驗變壓器 Lpar 對 Lres 比率
新的等效電路變壓器圈數比			15.82		估計的有效變壓器圈數比
新的 V 傳動元件反向			252	V	大電容器上的電壓，低於此值將導致 ZVS 損失
f_res_trial			277	kHz	新的串聯諧振頻率
f_predicted_trial			247	kHz	新的標準操作頻率
IRMS_LLC_Primary			0.68	A	滿載和標準輸入電壓 (Vbulk) 和 f_predicted_trial 下的一次側繞組有效值電流
繞組 1 (較低二次側電壓) 有效值電流			4.1	A	通過輸出 1 繞組的有效值電流，假設為半正弦波形；輸出 2 繞組為輸出 1 繞組上方的 AC 堆疊
較低二次側電壓電容器的有效值電流			1.1	A	較低二次側電壓電容器的有效值電流
繞組 2 (較高二次側電壓) 有效值電流			2.3	A	通過輸出 2 繞組的有效值電流
較高二次側電壓電容器的有效值電流			1.4	A	較高二次側電壓電容器的有效值電流



變壓器鐵芯計算 (從諧振參數區段進行計算)				
變壓器鐵芯	自動		EFD30	變壓器鐵芯
Ae			0.7	cm ² 輸入變壓器鐵芯截面積
Ve			4.7	cm ³ 輸入鐵芯體積
Aw			52.3	mm ² 窗口面積
Bw			20.1	mm 線軸總寬度
損失密度			200.0	mW/cm ³ 鍵入在切換頻率和 BAC (單位同 kW/m ³) 的每單位體積損失
MLT			3.7	cm 平均每圈長度
N_CHAMBERS			2.0	線軸腔數量
W_SEP			3.0	mm 繞組分離器距離 (將造成繞組面積損失)
功率損失			0.9	W 估計的鐵芯損失
Bpkfmin			119	mT 最小頻率時的第一象限峰值磁通密度
BAC			185	mT AC 峰值到峰值磁通密度 (在 f_predicted、Vbulk 滿載時進行計算)
一次側繞組				
Npri			36.0	一次側圈數；取決於 LLC 諧振區段
一次側規格	42		42	AWG 用於一次側繞組的個別線徑股數規格
等效一次側標準線徑規格			0.060	mm 等效線徑 (標準單位)
一次側 Litz 股數	75		75	Litz 線中的股數；對於非 Litz 一次側繞組則設為 1
一次側繞組分配係數			50	% 一次側窗口分配係數 - 分配給一次側的繞組空間百分比
AW_P			22	mm ² 一次側繞組窗口面積
填充係數			57%	% 一次側繞組填充係數 (典型最大填充為 60%)
Resistivity_25 C_Primary			79.06	m-ohm/m 電阻率 (毫歐姆/公尺)
一次側 DCR 25 C			105.25	m-ohm 25 C 時的估計電阻
一次側 DCR 100 C			141.03	m-ohm 估計的 100 C 的電阻 (較 25 C 時高出約 33%)
一次側有效值電流			0.68	A 所測得通過一次側繞組的有效值電流
ACR_Trif_Primary			225.65	m-ohm 測得的 AC 電阻 (在 100 kHz、室溫下) 乘以 1.33 估算出繞組溫度為 100 C 時的電阻
一次側銅損失			0.11	W 在 85 C 時的總一次側繞組銅損失
二次側繞組 1 (較低二次側電壓或單組輸出)			附註 - 功率損失計算基於每半二次側的繞組	
輸出電壓			12.00	V 輸出電壓 (假設 AC 堆疊繞組)
二次側 1 圈數			2.00	二次側繞組圈數 (每個相位)
二次側 1 有效值電流 (總值, AC+DC)			4.1	A 通過輸出 1 繞組的有效值電流, 假設為半正弦波形; 輸出 2 繞組為輸出 1 繞組上方的 AC 堆疊
繞組電流 (DC 元件)			2.66	A 繞組電流的 DC 元件
繞組電流 (AC 有效值元件)			3.17	A 繞組電流的 AC 元件
二次側 1 線徑規格	42		42	AWG 用於二次側繞組的個別線徑股數規格
等效二次側 1 標準線徑規格			0.060	mm 等效線徑 (標準單位)
二次側 1 Litz 股數	75		75	用於 Litz 線中的股數; 對於非 Litz、非整合式變壓器設為 1
Resistivity_25 C_sec1			79.06	m-ohm/m 電阻率 (毫歐姆/公尺)
DCR_25C_Sec1			5.85	m-ohm 25 C 時每相位的估計電阻 (僅供參考)
DCR_100C_Sec1			7.84	m-ohm 100 C 時每相位的估計電阻 (較 25 C 時高出約 33%)
DCR_Ploss_Sec1			0.44	W 由 DC 電阻所致的估計的功率損失 (兩個二次側相位)
ACR_Sec1			12.54	m-ohm 測得的每相位 AC 電阻 (在 100 kHz、室溫下) 乘以 1.33 估算出繞組溫度為 100 C 時的電阻。ACR 的預設值是 100 C 下 DCR 值的兩倍
ACR_Ploss_Sec1			0.25	W 估計的 AC 銅損失 (兩個二次側相位)
總繞組 1 銅損失			0.70	W 兩個二次側相位的總 (AC + DC) 繞組銅損失
電容器的有效值電流			1.1	A 輸出電容器的有效值電流
Co1	10.00		10.0	uF 二次側 1 的輸出電容器
電容器的漣波電壓			1.2	% 二次側 1 的輸出電容器上的峰值到峰值漣波電壓



二次側繞組 2 (較高二次側電壓)				附註 - 功率損失計算基於每半二次側的繞組	
輸出電壓		24.00	V	輸出電壓 (假設 AC 堆疊繞組)	
二次側 2 圈數		2.00		二次側繞組圈數 (每相位), AC 堆疊在二次側繞組 1 的上方	
二次側 2 有效值電流 (總值, AC+DC)		2.3	A	通過輸出 2 繞組的有效值電流	
繞組電流 (DC 元件)		1.5	A	繞組電流的 DC 元件	
繞組電流 (AC 有效值元件)		1.8	A	繞組電流的 AC 元件	
二次側 2 線徑規格	42	42	AWG	用於二次側繞組的個別線徑股數規格	
等效二次側 2 標準線徑規格		0.060	mm	等效線徑 (標準單位)	
二次側 2 Litz 股數	75	75		用於 Litz 線中的股數; 對於非 Litz、非整合式變壓器設為 1	
Resistivity_25 C_sec2		79.06	m-ohm/m	電阻率 (毫歐姆/公尺)	
變壓器二次側 MLT		3.70	cm	平均每圈長度	
DCR_25C_Sec2		5.85	m-ohm	25 C 時每相位的估計電阻 (僅供參考)	
DCR_100C_Sec2		7.84	m-ohm	100 C 時每相位的估計電阻 (較 25 C 時高出約 33%)	
DCR_Ploss_Sec1		0.14	W	由 DC 電阻所致的估計功率損失 (兩個二次側半側)	
ACR_Sec2		12.54	m-ohm	測得的每相位 AC 電阻 (在 100 kHz, 室溫下) 乘以 1.33 估算出繞組溫度為 100 C 時的電阻。ACR 的預設值是 100 C 下 DCR 值的兩倍	
ACR_Ploss_Sec2		0.08	W	估計 AC 銅損失 (兩個二次側半側)	
總繞組 2 銅損失		0.22	W	兩個二次側半側的總 (AC + DC) 繞組銅損失	
電容器的有效值電流		1.4	A	輸出電容器的有效值電流	
Co2	10.00	10.0	uF	二次側 2 的輸出電容器	
電容器的漣波電壓		0.8	%	二次側 1 的輸出電容器上的峰值到峰值漣波電壓	
變壓器損失計算				不包含來自間隙的邊緣磁通損失	
一次側銅損失 (來自一次側區段)		0.11	W	在 85 C 時的總一次側繞組銅損失	
二次側銅損失		0.92	W	二次側繞組中的總銅損失	
變壓器總銅損失		1.02	W	變壓器 (一次側 + 二次側) 中的總銅損失	
AW_S		22.25	mm ²	二次側繞組窗口面積	
二次側填充係數		13%	%	二次側繞組填充係數百分比; 有包覆 Litz 典型最大填充為 60%, 無包覆 Litz 則為 75%	
訊號接腳電阻器值					
停滯時間		320	ns	停滯時間	
突波模式	自動	2		選取突波模式: 1、2 和 3 有磁滯並有不同的頻率臨界值	
f_max		797	kHz	最大內部時鐘頻率, 取決於停滯時間的設定	
f_burst_start		299	kHz	突波模式的較低臨界值頻率, 提供磁滯。這是突波暫停期間過後, 重新啟動時的切換頻率	
f_burst_stop		349	kHz	突波模式的頻率臨界值上限; 這是突波暫停期間停止時的切換頻率	
DT/BF 接腳上方分壓電阻器		7.21	Ω	從 DT/BF 接腳到 VREF 接腳的電阻器	
DT/BF 接腳下方分壓電阻器		65	Ω	從 DT/BF 接腳到 G 接腳的電阻器	
Rstart	7.32	7.32	Ω	啟動電阻器 - 以串聯方式接合電阻器和軟啟動電容器; 啟動時從 FB 至 VREF 接腳產生的等效電阻	
啟動延遲		0.0	ms	啟動延遲; 在切換開始之前延遲。降低 R_START 以增加延遲	
Rfmin		31.8	Ω	從 VREF 至 FB 接腳的電阻器, 用以設定最小操作頻率; 此電阻器加 Rstart 可決定 f_MIN	
C_softstart	1	1.0	uF	軟啟動電容器。建議值介於 0.1uF 和 10uF 之間	
Ropto		3.8	Ω	電阻器與光耦合器的射極串聯	
OV/UV 接腳下方電阻器	20.00	20.0	Ω	OV/UV 接腳分壓中的下方電阻器	
OV/UV 接腳上方電阻器		2.92	M-ohm	OV/UV 接腳分壓中的總上方電阻	

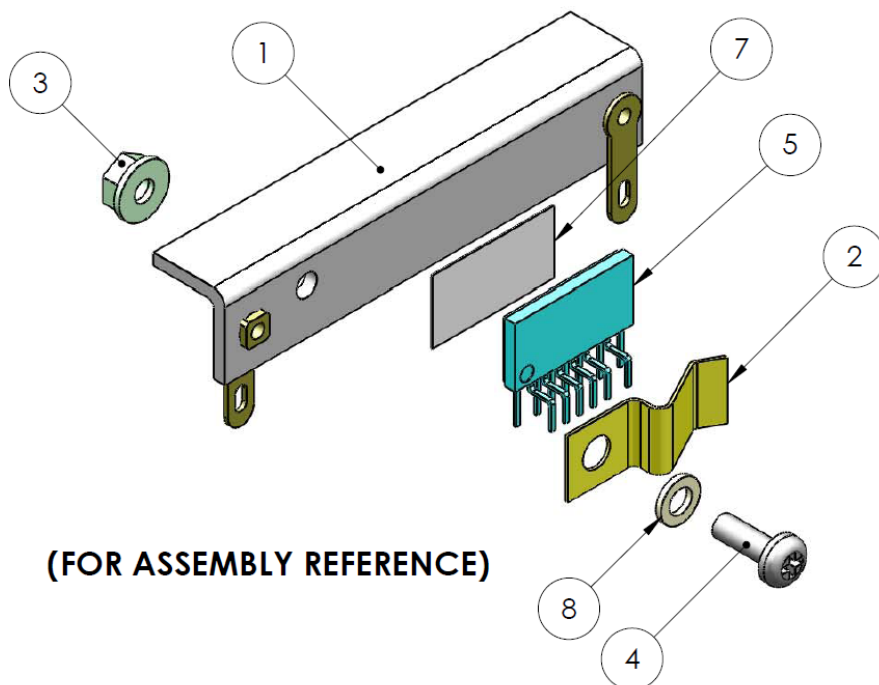


LLC 電容分壓電流感測電路					
慢速限電流			1.91	A	8 週期限電流 - 在電壓關閉和啟動期間檢查正數半週期
快速限電流			3.44	A	1 週期限電流 - 在啟動期間檢查正數半週期
LLC 感測電容器			47	pF	HV 感測電容器，與主要諧振電容器組成分流器
RLLC 感測電阻器	20		18.6	Ω	LLC 電流感測電阻器，在感測電容器中感測電流
IS 接腳限電流電阻器			220	Ω	感測 R 上的電壓低於 -0.5V 時從感測電阻器流入 IS 接腳的限電流
IS 接腳噪音濾波器電容器			1.0	nF	IS 接腳旁路電容器；與 IS 接腳限電流電容器組成極點
IS 接腳噪音濾波器極點頻率			724	kHz	此極點會削減 IS 接腳訊號
損失預算					
LCS 裝置導通損失			1.3	W	標準線間電壓與滿載時的導通損失
輸出二極體損失			1.4	W	估計的二極體損失
估計的變壓器總銅損失			1.02	W	變壓器 (一次側 + 二次側) 中的總銅損失
估計的變壓器總鐵芯損失			0.9	W	估計的鐵芯損失
變壓器總損失			2.0	W	變壓器總損失
估計的總損失			4.7	W	在 LLC 級的總損失
估計的效率			96%	%	估計的效率
接腳			104	W	LLC 輸入功率
二次側圈數及電壓中心化計算機					協助您選擇二次側圈數 - 輸出並未連接至試算表的其他部分
V1			12.00	V	目標調節輸出電壓 Vo1。變更以查看從屬輸出的效應
V1d1			0.60	V	二極體壓降電壓 Vo1
N1			2.00		Vo1 的總圈數
V1_Actual			12.00	V	預期輸出
V2			24.00	V	目標輸出電壓 Vo2
V2d2			0.60	V	二極體壓降電壓 Vo2
N2			4.00		Vo2 的總圈數
V2_Actual			24.60	V	預期輸出電壓
分離式串聯電感器 (僅限非整合式變壓器)					如果使用整合式磁化元件則不適用 - 未連接至試算表的其他部分
Lsep			100.00	μ H	所需的分離式電感器的電感
Ae_Ind			0.53	cm ²	電感器鐵芯截面積
電感器圈數			13		一次側圈數
BP_fnom			1501	高斯	用於鐵芯損失計算的 AC 磁通 (在 f_predicted 及滿載時)
預期峰值一次側電流			1.9	A	預期峰值一次側電流
BP_fmin			2802	高斯	峰值磁通密度，在最小頻率 fmin 時計算
電感器規格			44	AWG	用於一次側繞組的個別線徑股數規格
等效電感器標準線徑規格			0.050	mm	等效線徑 (標準單位)
電感器 Litz 股數			125.00		Litz 線使用的股數
電感器並聯線數			1		用於補充 Litz 線的並聯個別線數
Resistivity_25 C_Sep_Ind			75.4	m-ohm/m	電阻率 (毫歐姆/公尺)
電感器 MLT			7.00	cm	平均每圈長度
電感器 DCR 25 C			68.6	m-ohm	估計的 25 C 的電阻 (供參考)
電感器 DCR 100 C			92.0	m-ohm	估計的 100 C 的電阻 (較 25 C 時高出約 33%)
ACR_Sep_Inductor			147.1	m-ohm	測得的 AC 電阻 (在 100 kHz, 室溫下) 乘以 1.33 估算出繞組溫度為 100 C 時的電阻
電感器銅損失			0.07	W	在 85 C 時的總一次側繞組銅損失

注意：試算表於二次側圈數的計算係假設採 AC 堆疊的輸出繞組形式。本設計中未於變壓器構造中使用 AC 堆疊。



11 散熱片組裝



項目編號	項目品名
1	散熱片
2	金屬夾
3	齒花螺帽
4	螺絲
5	HiperLCS IC
6	N/A
7	散熱膏
8	平墊圈

圖 8 – 組裝前。

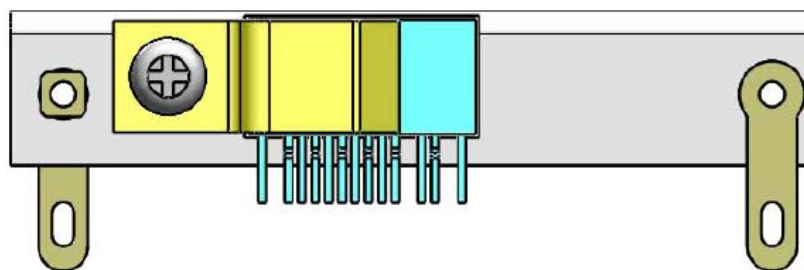


圖 9 – 組裝後。



12 效能資料

12.1 效率 – 100%、50%、20% 及 10% 負載

12.1.1 效率資料

P_{IN}	V_{OUT} (24 V)	I_{OUT} (24 V)	V_{OUT} (12 V)	I_{OUT} (12 V)	P_{OUT}	效率 (%)
107.05	24.27	2.999	11.99	2.327	100.686	94.06
53.97	24.24	1.503	11.99	1.164	50.389	93.36
22.365	24.22	0.6027	11.99	0.4608	20.122	89.97
11.985	24.22	0.3027	11.99	0.2266	10.048	83.84

12.2 輸出交叉調節

為取得下列資料，一個輸出調整為最大負載 (3 A)，另一則與最大總輸出功率 100 W 一致，於零負載與最大負載之間不等。

12.2.1 交叉調節資料

3 A 之下以 12 V 交叉調節				3 A 之下以 24 V 交叉調節			
V_{OUT} (24 V)	I_{OUT} (24 V)	V_{OUT} (12 V)	I_{OUT} (12 V)	V_{OUT} (24 V)	I_{OUT} (24 V)	V_{OUT} (12 V)	I_o (12 V)
25.31	0.0105	11.94	3	22.84	3	12.07	0.012
25.25	0.0206	11.94	3	23.21	3	12.05	0.02
25.21	0.0318	11.94	3	23.28	3	12.05	0.0314
25.16	0.0514	11.95	3	23.35	3	12.04	0.0507
25.08	0.1024	11.95	3	23.46	3	12.04	0.1008
24.98	0.2506	11.95	3	23.64	3	12.03	0.251
24.9	0.5014	11.96	3	23.79	3	12.02	0.4997
24.78	0.9992	11.96	3	23.96	3	12.01	1.0016
24.6	2	11.97	3	24.21	3	11.99	2.001
24.49	2.645	11.98	3	24.29	3	11.99	2.324

12.3 啟動與關機大電壓

對 VCC 輸入施加 +12 VDC 的電壓時，若輸出的啟動電壓為 357.4 VDC，則在 283.9 VDC 時會發生輸出關閉的情況。



13 波形

13.1 半橋電壓和電流，標準操作

13.1.1 以 380 VDC 輸入測得

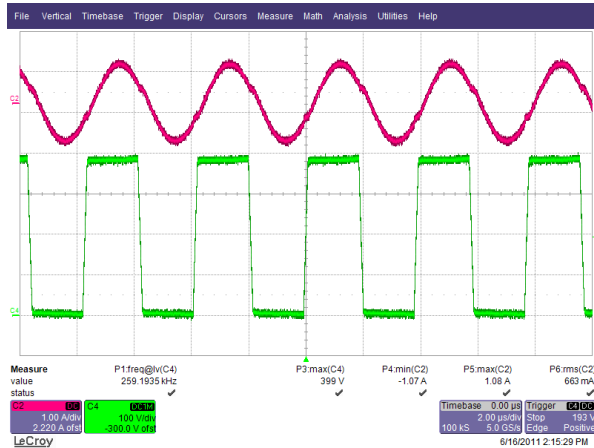


圖 10 – 一次側 V-I，滿載。

上：一次側電流，每格 1 A
下：HB 到一次側接地電壓，100 V，
每格 2 μ s。

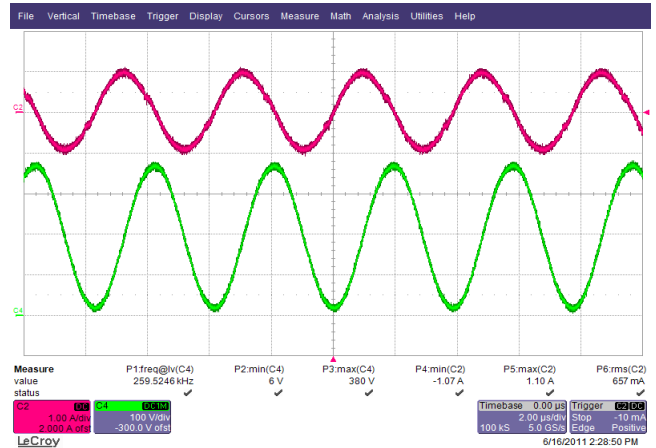


圖 11 – 一次側 V-I，滿載。

上：一次側電流，每格 1 A
下：諧振電容器 (C11) 電壓，100 V，
每格 2 μ s。



13.2 輸出電壓啟動輪廓

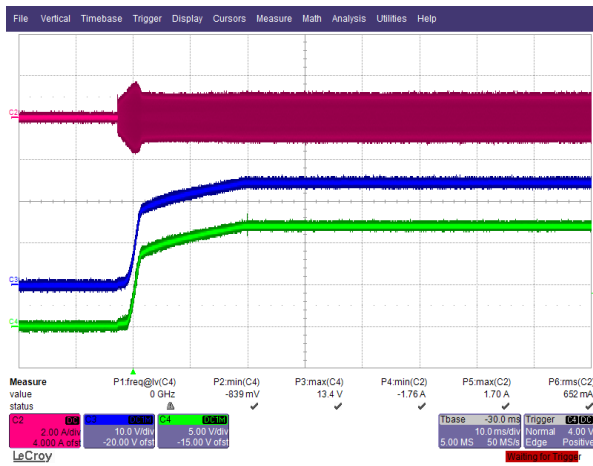


圖 12 – 滿載啟動。
 上：一次側電流，每格 1 A
 中：24 V_{OUT}，每格 10 V，
 下：12 V_{OUT}，5 V，每格 10 ms。

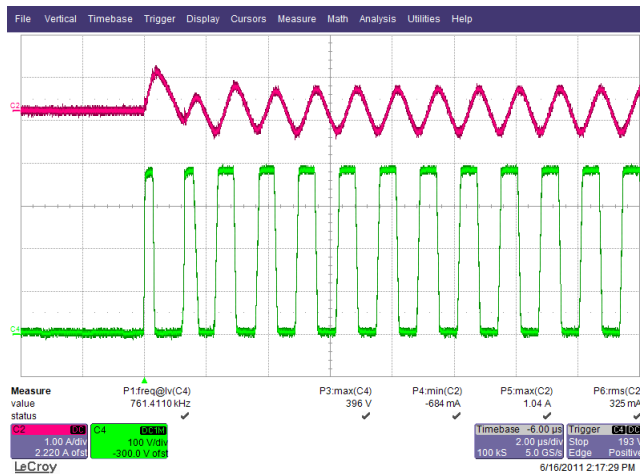


圖 13 – 滿載啟動。
 上：一次側電流，每格 1 A
 下：HB 到一次側接地電壓，100 V，
 每格 2 μs。

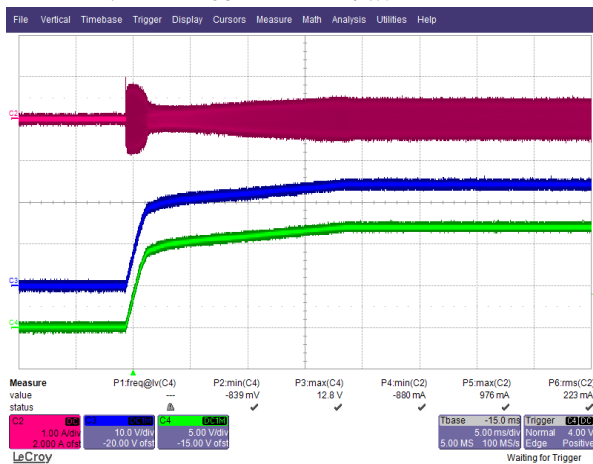


圖 14 – 啟動時的輸出電壓。無負載。
 上：一次側電流，每格 1 A
 中：24 V_{OUT}，每格 10 V，
 下：12 V_{OUT}，5 V，每格 5 ms。

13.3 負載暫態反應 (380 VDC 輸入下 5% 至 100% 的負載步階)

在以下各圖中，使用訊號平均法以更有效地查看負載暫態反應。示波器則使用負載電流階躍作為觸發器來源來觸發。由於在負載暫態方面，輸出切換和線間電壓頻率特別會在隨機情況下發生，因此來自這些來源的輸出漣波將會達到平均數，只讓負載步階回應提供貢獻。

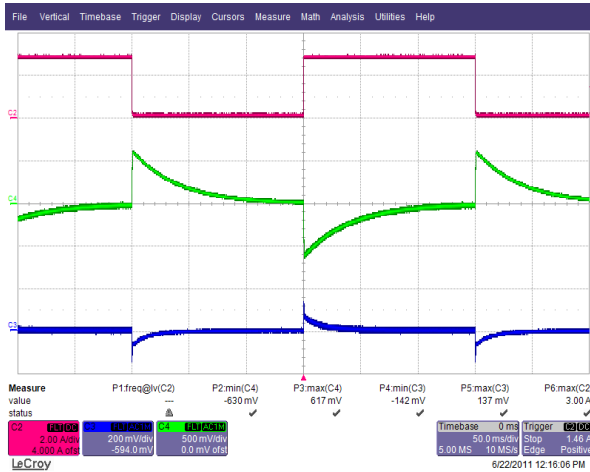


圖 15 – 24 V_{OUT} 為 5%-100% 負載暫態，
12 V_{OUT} 為 10% 負載。
上：24 V_{OUT} 負載電流，每格 2 A
中：24 V_{OUT} AC 耦合，每格 500 mV
下：12 V_{OUT} AC 耦合，每格 200 mV，
每格 50 ms。

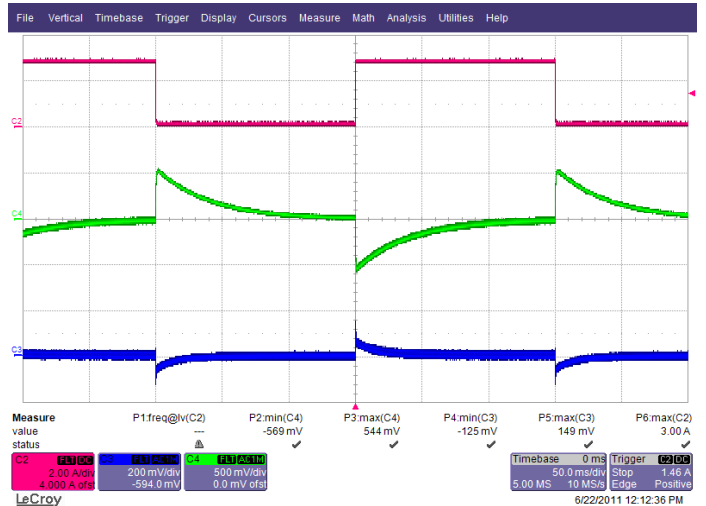


圖 16 – 24 V_{OUT} 為 5%-100% 負載暫態，
12 V_{OUT} 為 100% 負載。
上：24 V_{OUT} 負載電流，每格 2 A
中：24 V_{OUT} AC 耦合，每格 500 mV
下：12 V_{OUT} AC 耦合，每格 200 mV，每格 50 ms。



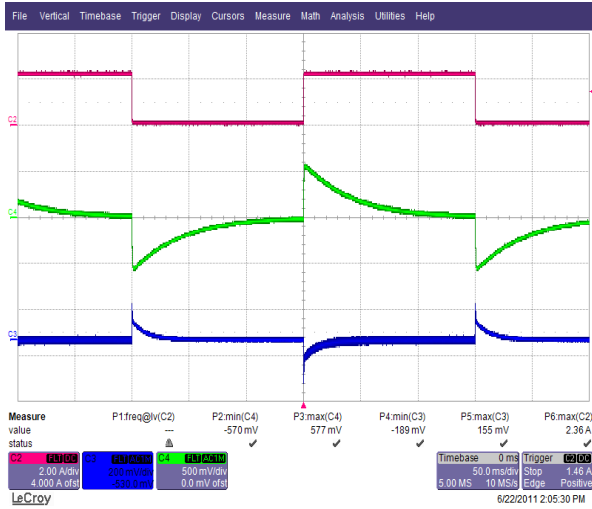


圖 17 – 12 V_{OUT} 5%-100% 負載暫態，
 24 V_{OUT} 10% 負載。
 上：12 V_{OUT} 負載電流，每格 2 A
 中：24 V_{OUT} AC 耦合，每格 500 mV
 下：12 V_{OUT} AC 耦合，每格 200 mV，
 每格 50 ms。

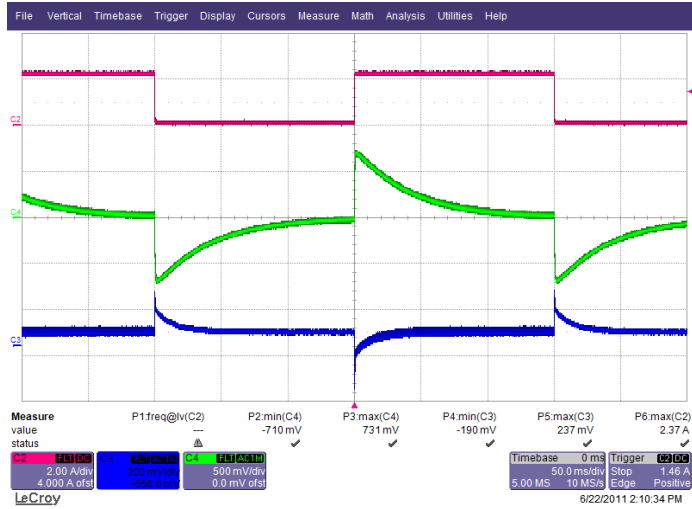


圖 18 – 12 V_{OUT} 5%-100% 負載暫態，
 24 V_{OUT} 100% 負載。
 上：12 V_{OUT} 負載電流，每格 2 A
 中：24 V_{OUT} AC 耦合，每格 500 mV
 下：12 V_{OUT} AC 耦合，每格 200 mV，
 每格 50 ms。



13.4 輸出電壓關閉

圖 12 及 13 取自關閉輸入電壓供應，並於 24 V 輸出的下降邊緣觸發示波器。

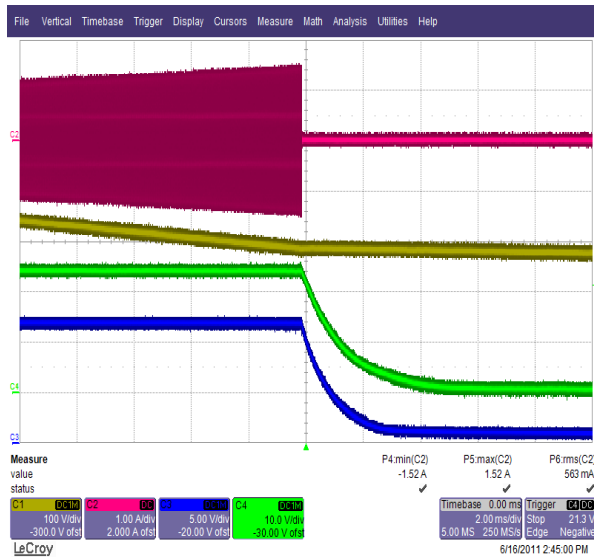


圖 19 – 輸出電壓關閉

- 上：一次側電流，每格 1 A。
- 第 2 次 Trace：一次側匯流排電壓，每格 100 V。
- 第 3 次 Trace：24 V_{OUT}，每格 10 V。
- 第 4 次 Trace：12 V_{OUT}，5 V，每格 2 ms。

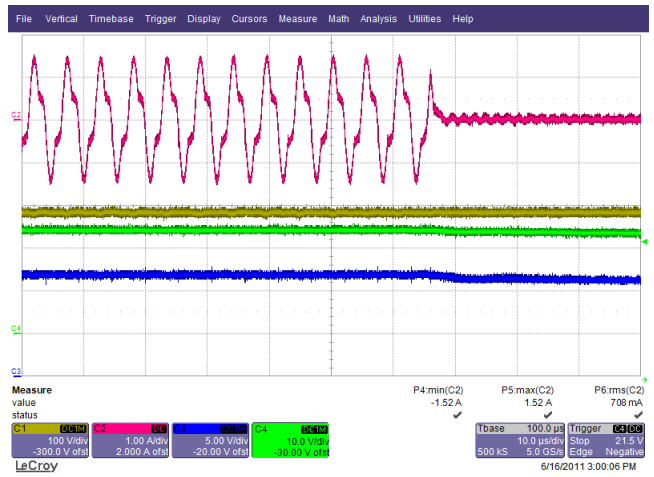


圖 20 – 輸出電壓關閉

- 上：一次側電流，每格 1 A。
- 第 2 次 Trace：一次側匯流排電壓，每格 100 V。
- 第 3 次 Trace：24 V_{OUT}，每格 10 V。
- 第 4 次 Trace：12 V_{OUT}，5 V，每格 10 μs。



13.5 輸出二極體反向峰值電壓

下列波形是在滿載且 380 VDC 輸入之下測得。

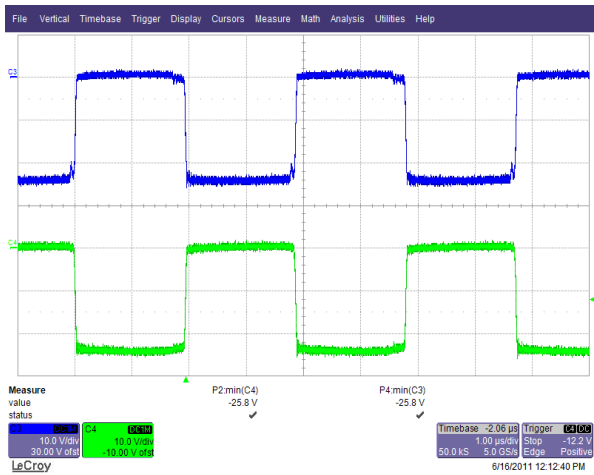


圖 21 – 12 V 輸出二極體 (D3 雙封裝共陰)，380 VDC 輸入，10 V，每格 1 μ s。

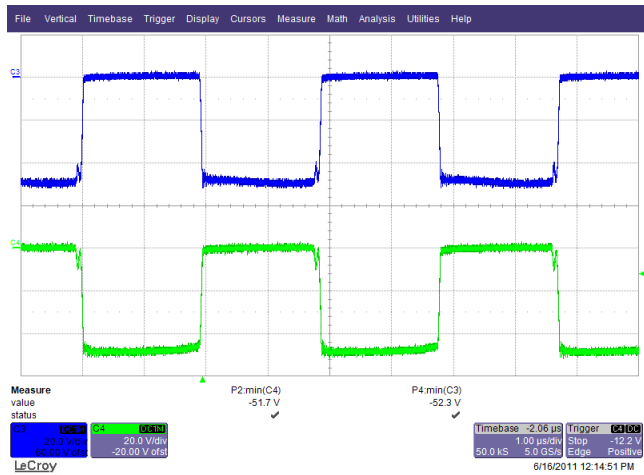


圖 22 – 24 V 輸出二極體 (D2 雙封裝共陰)，380 VDC 輸入，20 V，每格 1 μ s。

13.6 短路

針對下示測試，供電輸出在 100 W 負載，380 VDC 輸入以汞位移繼電器進行短路。示波器設為在電流增加時觸動。

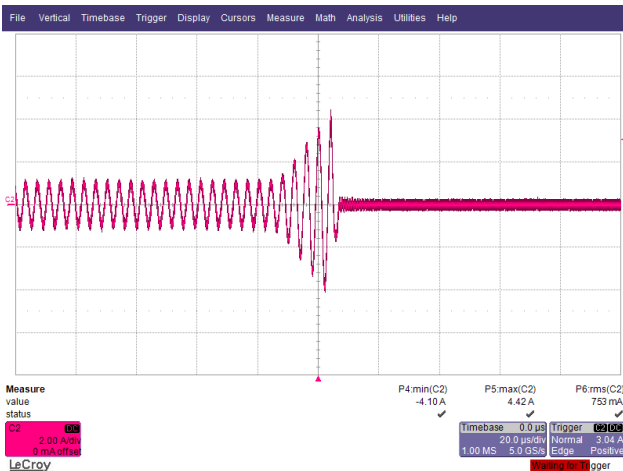


圖 23 – 12 V 輸出短路期間一次側電流波形，2 A，每格 20 μ s。

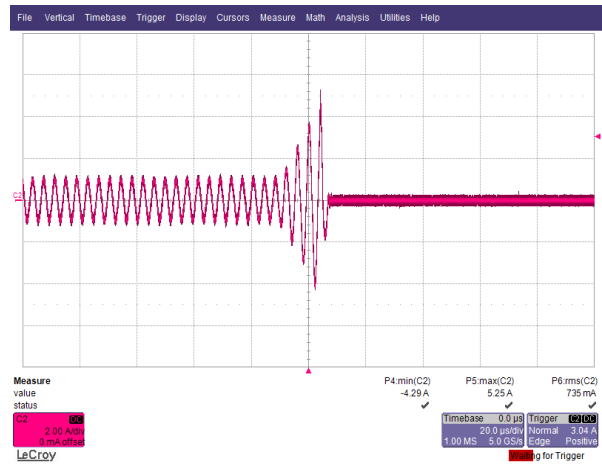


圖 24 – 24 V 輸出短路期間一次側電流波形，2 A，每格 20 μ s。

13.7 輸出漣波的測量

13.7.1 漣波測量技術

針對 DC 輸出漣波測量，必須利用改裝後的示波器測試探棒，以降低由於提取所導致的寄生訊號。改裝探棒的詳細資料如下圖所示。

4987BA 探棒轉換器在探棒尖端上附接著並聯的兩個電容器。這些電容器包括一個 (1) 0.1 μF /50 V 陶瓷型和一個 (1) 1.0 μF /50 V 鋁電解型。鋁電解型電容器經過極化，因此 DC 輸出上必須維持適當極化 (參閱下圖)。

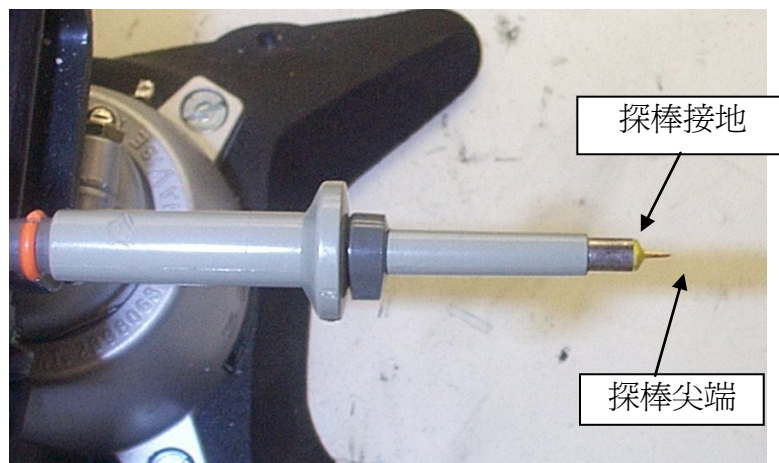


圖 25 – 為測量漣波所準備的示波器探棒 (端蓋與接地線已去除)

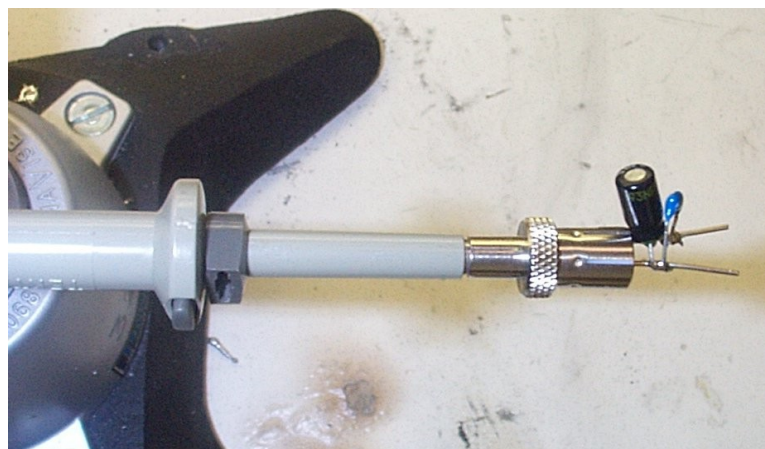


圖 26 – 使用 Probe Master (www.probemaster.com) 4987A BNC 轉換器的示波器探棒 (經以適用於漣波測量的線材改裝，並添加兩個並聯去耦合電容器)



13.7.2 輸出漣波測量結果

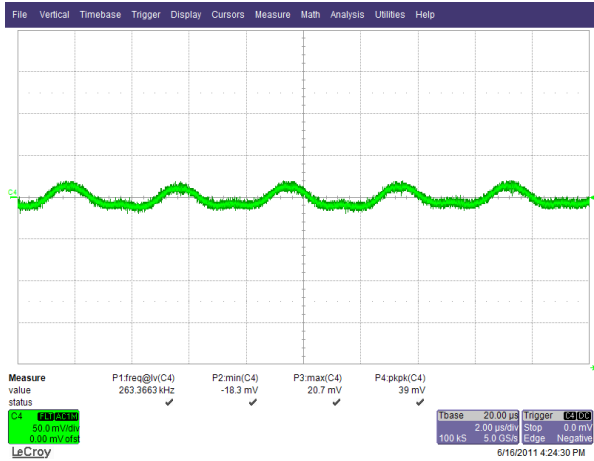


圖 27 – 12 V_{RIPPLE} , 380 VDC , 滿載。
50 mV , 每格 2 μs 。

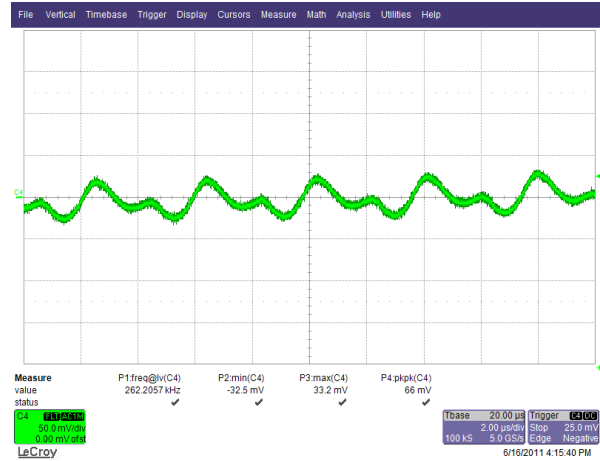


圖 28 – 24 V_{RIPPLE} , 380 VDC , 滿載。
50 mV , 每格 2 μs 。

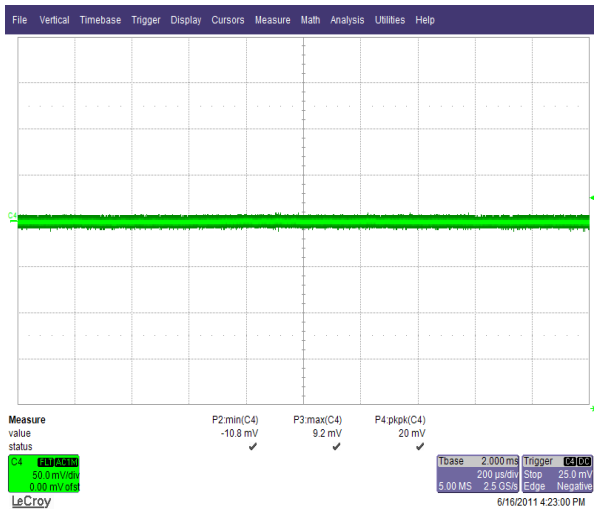


圖 29 – 12 V_{RIPPLE} , 380 VDC , 無負載。
50 mV , 每格 200 μs
(電源供應器非處於突波模式。)

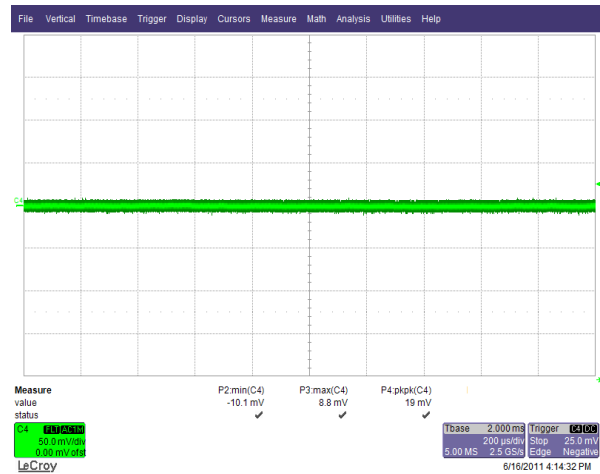


圖 30 – 24 V_{RIPPLE} , 380 VDC , 無負載。
每格 50 mV , 每格 200 μs
(電源供應器非處於突波模式。)



14 溫度測量

14.1 條件：380 VDC，滿載，浸泡 1 小時

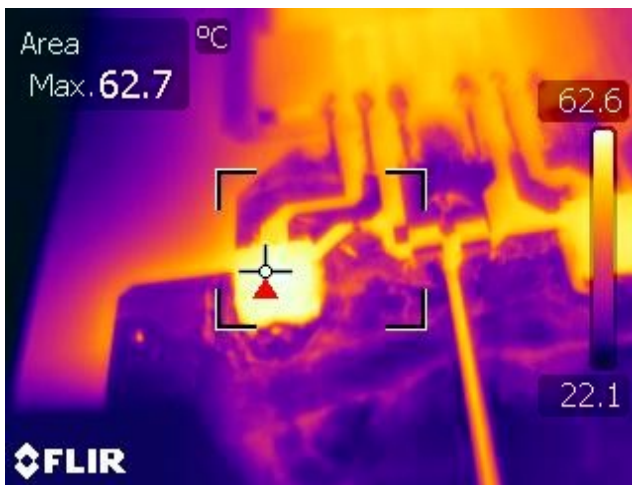


圖 31 – 滿載 24 V 整流器 (D2) 熱跡俯視圖，室溫。

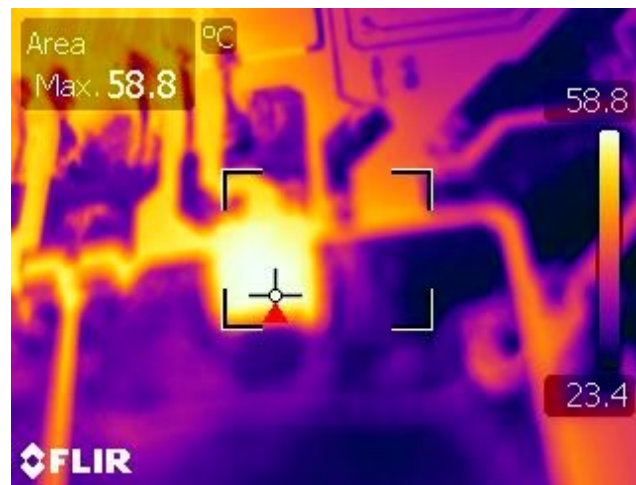


圖 32 – 滿載 12 V 整流器 (D3) 熱跡俯視圖，室溫。



圖 33 – 滿載變壓器 (T1) 熱跡圖，室溫。

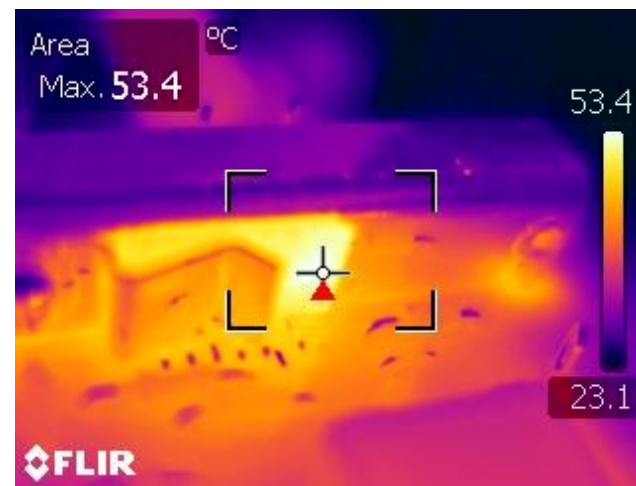


圖 34 – 滿載 HiperLCS (U1) 熱跡圖，室溫。





圖 35 – 電路板頂部。



圖 36 – 電路板底部。

15 修訂記錄

日期	作者	修訂	說明與變更	已審核
2011 年 9 月 13 日	SS	1.2	初始版本	應用與行銷部門



For the latest updates, visit our website: www.powerint.com

Power Integrations reserves the right to make changes to its products at any time to improve reliability or manufacturability. Power Integrations does not assume any liability arising from the use of any device or circuit described herein. POWER INTEGRATIONS MAKES NO WARRANTY HEREIN AND SPECIFICALLY DISCLAIMS ALL WARRANTIES INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY RIGHTS.

PATENT INFORMATION

The products and applications illustrated herein (including transformer construction and circuits' external to the products) may be covered by one or more U.S. and foreign patents, or potentially by pending U.S. and foreign patent applications assigned to Power Integrations. A complete list of Power Integrations' patents may be found at www.powerint.com. Power Integrations grants its customers a license under certain patent rights as set forth at <http://www.powerint.com/ip.htm>.

The PI Logo, TOPSwitch, TinySwitch, LinkSwitch, DPA-Switch, PeakSwitch, CAPZero, SENZero, LinkZero, HiperPFS, HiperTFS, HiperLCS, Qspeed, EcoSmart, Clampless, E-Shield, Filterfuse, StackFET, PI Expert and PI FACTS are trademarks of Power Integrations, Inc. Other trademarks are property of their respective companies. © Copyright 2011 Power Integrations, Inc.

Power Integrations Worldwide Sales Support Locations

WORLD HEADQUARTERS

5245 Hellyer Avenue
San Jose, CA 95138, USA.
Main: +1-408-414-9200
Customer Service:
Phone: +1-408-414-9665
Fax: +1-408-414-9765
e-mail:
usasales@powerint.com

GERMANY

Rueckertstrasse 3
D-80336, Munich
Germany
Phone: +49-89-5527-3911
Fax: +49-89-5527-3920
e-mail:
eurosales@powerint.com

JAPAN

Kosei Dai-3 Building
2-12-11, Shin-Yokohama,
Kohoku-ku, Yokohama-shi,
Kanagawa 222-0033
Japan
Phone: +81-45-471-1021
Fax: +81-45-471-3717
e-mail: japansales@powerint.com

TAIWAN

5F, No. 318, Nei Hu Rd., Sec. 1
Nei Hu District
Taipei 114, Taiwan R.O.C.
Phone: +886-2-2659-4570
Fax: +886-2-2659-4550
e-mail:
taiwansales@powerint.com

CHINA (SHANGHAI)

Rm 1601/1610, Tower 1
Kerry Everbright City
No. 218 Tianmu Road West
Shanghai, P.R.C. 200070
Phone: +86-021-6354-6323
Fax: +86-021-6354-6325
e-mail:
chinasales@powerint.com

INDIA

#1, 14th Main Road
Vasanthanagar
Bangalore-560052
India
Phone: +91-80-4113-8020
Fax: +91-80-4113-8023
e-mail:
indiasales@powerint.com

KOREA

RM 602, 6FL
Korea City Air Terminal B/D, 159-6
Samsung-Dong, Kangnam-Gu,
Seoul, 135-728
Korea
Phone: +82-2-2016-6610
Fax: +82-2-2016-6630
e-mail: koreasales@powerint.com

EUROPE HQ

1st Floor, St. James's House
East Street, Farnham
Surrey GU9 7TJ
United Kingdom
Phone: +44 (0) 1252-730-141
Fax: +44 (0) 1252-727-689
e-mail:
eurosales@powerint.com

CHINA (SHENZHEN)

Rm A, B & C 4th Floor, Block C,
Electronics Science and
Technology Building
2070 Shennan Zhong Road
Shenzhen, Guangdong,
P.R.C. 518031
Phone: +86-755-8379-3243
Fax: +86-755-8379-5828
e-mail:
chinasales@powerint.com

ITALY

Via De Amicis 2
20091 Bresso MI
Italy
Phone: +39-028-928-6000
Fax: +39-028-928-6009
e-mail:
eurosales@powerint.com

SINGAPORE

51 Newton Road,
#19-01/05 Goldhill Plaza
Singapore, 308900
Phone: +65-6358-2160
Fax: +65-6358-2015
e-mail:
singaporesales@powerint.com

APPLICATIONS HOTLINE

World Wide +1-408-414-9660

APPLICATIONS FAX

World Wide +1-408-414-9760

