

# 應用說明 AN-68

## LYTswitch-7 系列

### 設計指南

#### 背景資料

隨著 LED 市場逐漸成為主流商品市場，降低製造成本便成為一項優先要務。根據 DOE 對典型 A19 燈泡所做的成本明細預測，LED 驅動器在系統成本中大約佔 15% 到 20%。因此，所有的 LED OEM 必須設法降低驅動器的 BOM 成本，藉此因應極具競爭性的市場。

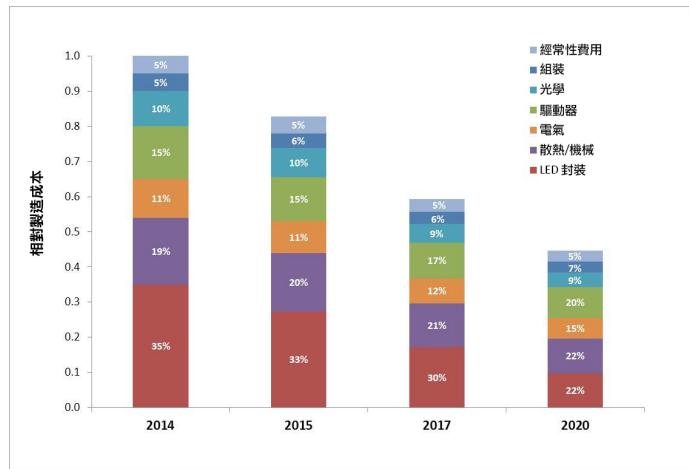


圖 1. 典型 A19 替換燈泡的成本明細預測  
(資料來源：DOE SSL 圓桌會議和研討會與會者)

可調光 LED 驅動器電路通常非常複雜，而且需要大量元件才能與改良式調光器相容，這些調光器主要設計用於高功率電阻負載，例如白熾燈泡。

LYTswitch-7 IC 可解決調光相容性問題，同時考量了對低成本、高可靠性解決方案的需求。

#### 簡介

LYTswitch™-7 系列是低成本 Single-stage 高功率因數 (PF) 定電流免阻尼器可調光 LED 燈泡的理想之選。

該系列將高壓 MOSFET 與導通時間可變的臨界導通模式 (CrM) 控制器整合。使用最少的外部元件即可實現廣泛的保護功能，能夠提供領先業界的功率密度和功能。

低壓側結構可讓您在 DC 汇流排與 BYPASS 接腳之間使用單一上拉電阻器，由此免去了偏壓繞組並允許使用低成本的現成鼓式電感器。

具備自動重新啟動的保護功能包括輸入和輸出過壓保護、輸出短路保護及開迴路保護。

過熱限流保護可確保在溫度升高情況下能夠繼續提供照明。過溫關機可在出現故障的情況下提供保護。

控制演算法可實現快速啟動、平穩的光源啟動、優於 10:1 的調光比，以及單向調光模式。

#### 適用範圍

本應用說明專供使用 LYTswitch-7 裝置系列來設計非隔離式 AC-DC 降壓式電源供應器的工程師之用。其中針對所有電路元件的選擇提供了逐步設計程序。

本應用說明利用了 PIXls Designer，它是以試算表為基礎的應用程式，可讓電源供應器工程師更好地掌控整個設計過程。此軟體是 PI Expert™ 設計軟體套件的一部分，您可從

<http://www.power.com/zh-hant/design-support/pi-expert-design-software> 下載此套件。

除了本應用說明外，您還可以找到 LYTswitch-7 參考配套設計 (RDK) (包含工程原型板、報告與裝置樣品)，將其用作新設計的起點。

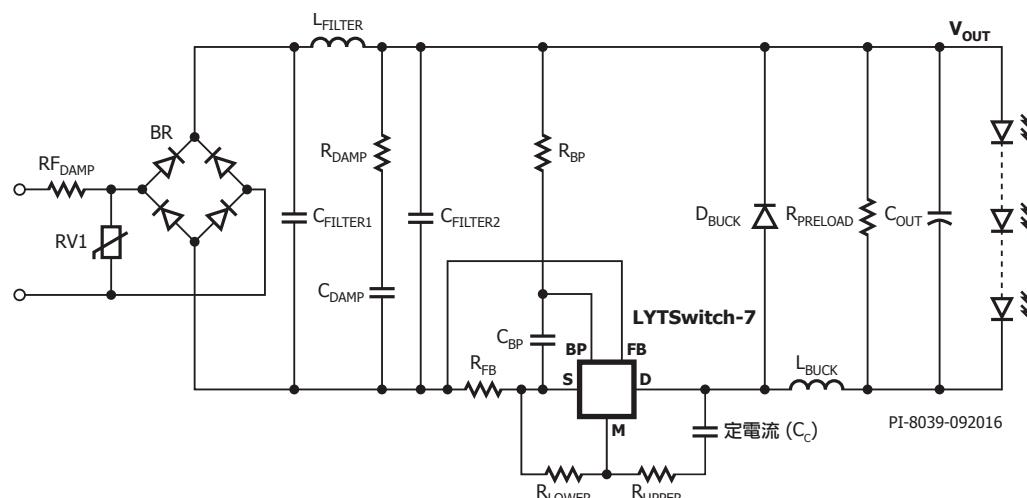


圖 2. 採用低壓側降壓式結構的典型 LYTswitch-7 電路圖

## 接腳功能說明

接腳名稱	功能
BYPASS (BP) 接腳	5.22 V 電源軌
多功能 (M) 接腳	模式 1 : MOSFET 關閉 • 偵測電感器去磁 (ZCD) 以確保 CrM • 輸出 OVP 感測 • 穩態操作電壓範圍為 [1 V – 2.4 V] 模式 2 : MOSFET 開啟 • 線路 OVP 感測
回授 (FB) 接腳	• 使用外部電流感測電阻器進行 MOSFET 電流感測 • 正常運作電壓範圍為 $[V_{FB(REF)} – 0 V]$
汲極 (D) 接腳	高電壓內部 MOSFET
源極 (S) 接腳	電源與訊號接地點

表 1. 接腳功能說明

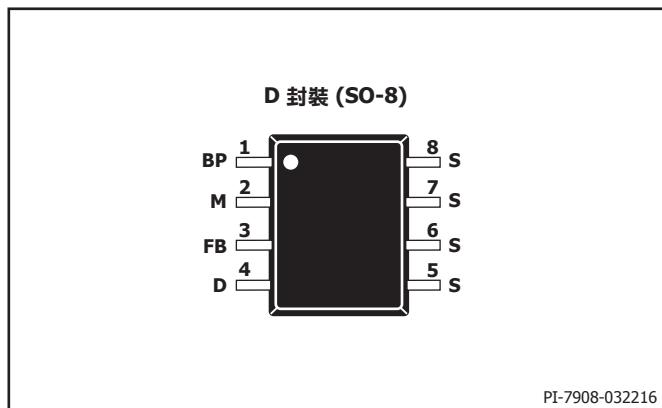


圖 3. LYTSwitch-7 接腳配置

## LYTSwitch-7 的運作

LYTSwitch-7 IC 以臨界導通模式 (CrM) 降壓式架構運作，此架構中的輸出電流等於電感器平均電流。

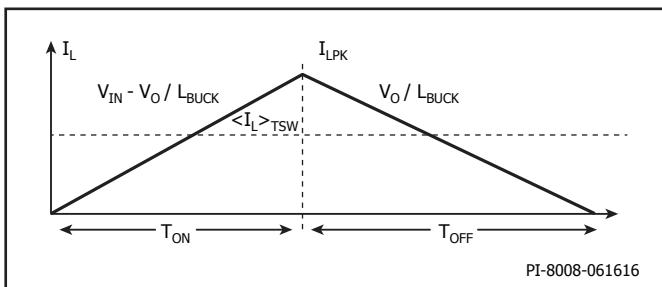


圖 4. 臨界導通模式 (CrM) 電感器電流分析

未連接調光器時，LYTSwitch-7 IC 會強制峰值限電流並控制  $T_{ON}$ ，以在恒定限電流區域 ( $t_{CC}$ ) 中的時間與在死區 ( $T_{DZ}$ ) 中的時間之間維持常數比，藉此維持定電流 (CC) 調節。

$$\frac{t_{CC}}{T_{DZ}} = 1$$

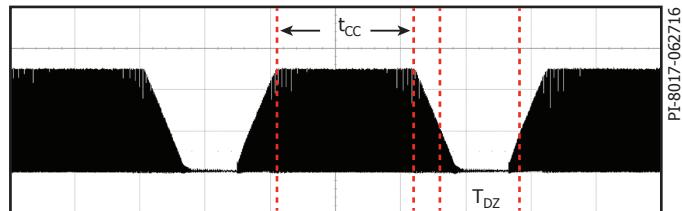


圖 5. LYTSwitch-7 常數比控制設計

LYTSwitch-7 IC 在相切輸入下運作，透過調整  $T_{ON}$  來嘗試將此比率維持在 1。但是，一旦達到  $T_{ON(MAX)}$ ，便會進入自然調光，即，導通角變更將降低電感器平均電流，進而降低輸出電流。

圖 6 至 9 進一步展示了如何透過 DER-539 上的 LYTSwitch-7 IC 實現調光。

## 未連接調光器

輸出電流處於最大值。 $t_{CC}/T_{DZ} = 1$ 。 $T_{ON} < T_{ON(MAX)}$ 。

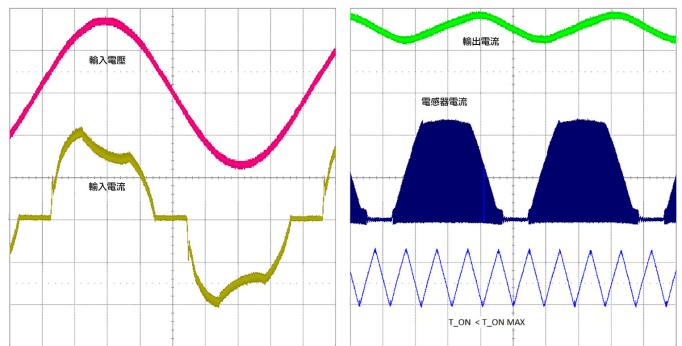


圖 6. 在完整 AC 導通時的輸入和輸出波形

## 相切調光，150° 導通角

輸出電流自然下降。維持  $t_{CC}/T_{DZ} = 1$  的比率。 $T_{ON} < T_{ON(MAX)}$ 。

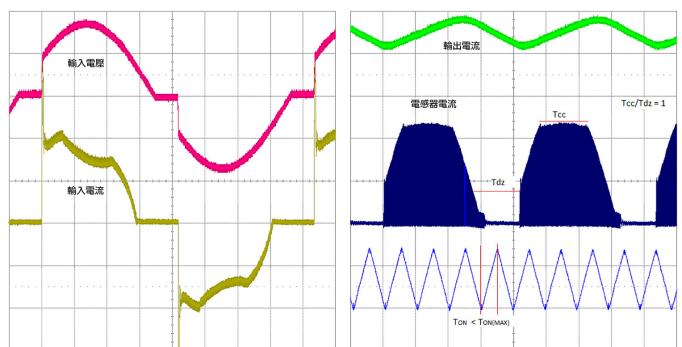


圖 7. 在 150° 導通角時的輸入和輸出波形

**相切調光，90° 導通角**

相切導致輸出電流進一步下降。 $t_{CC}/T_{DZ}$  比率小於 1。 $T_{ON} = T_{ON(MAX)}$ 。切換基於峰值電流，隨著輸入電壓的下降，峰值電流會增加輸入電流。

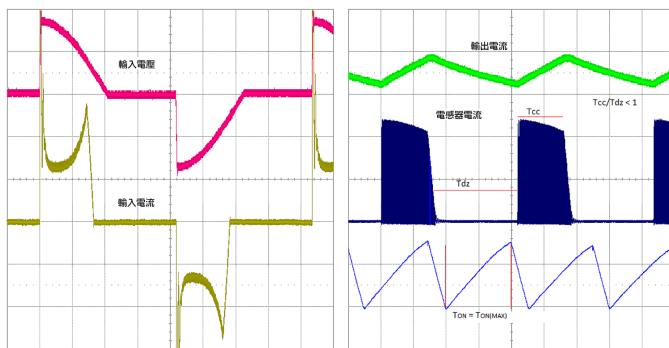


圖 8. 在 90° 導通角時的輸入和輸出波形

**相切調光，60° 導通角**

$T_{ON}$  保持在  $T_{ON(MAX)}$ 。輸出電流會自然下降。輸入電流隨著輸入的下降而自然上升，使 TRIAC 調光器保持正常運作。

圖 10 顯示 LYTSwitch-7 IC 的典型調光曲線，此曲線可輕鬆符合 NEMA SSL7A-2015 標準。

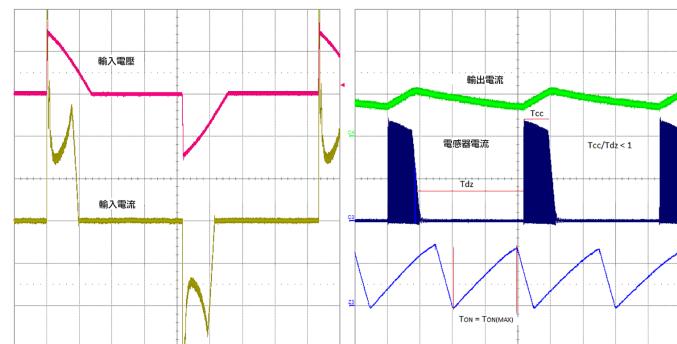


圖 9. 在 60° 導通角時的輸入和輸出波形

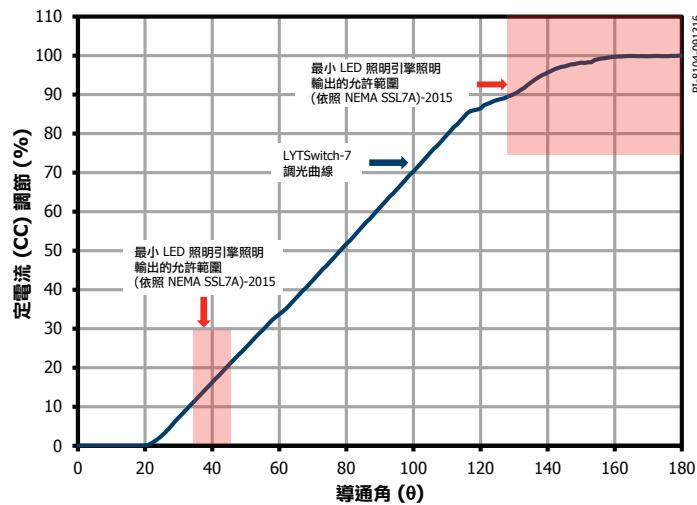


圖 10. LYTSwitch-7 調光曲線與 SSL7A-2015 限制關係圖

## 逐步設計程序

步驟 1 – 鍵入應用變數  $V_{AC_{MIN}}$ 、 $V_{AC_{TYP}}$ 、 $V_{AC_{MAX}}$ 、 $f_L$ 、 $V_o$ 、 $I_o$ 、 $V_D$ 、最佳化參數

輸入應用變數		低線電壓	AC 線電壓範圍
線電壓範圍		90 V	最小 AC 線電壓
$V_{AC_{MIN}}$		115 V	典型 AC 線電壓
$V_{AC_{TYP}}$		132 V	最大 AC 線電壓
$V_{AC_{MAX}}$		50 Hz	AC 主電源頻率
$f_L$		50 V	輸出電壓
$V_o$		160 mA	平均輸出電流規格
$I_o$		0.90	預估效率
效率		8.00 W	連續輸出功率
$P_o$		0.70 V	輸出二極體順向式壓降
$V_D$			

圖 11. 設計試算表的「應用變數」部分

## 線電壓範圍和線電壓頻率

根據表 2 確定輸入電壓範圍和線電壓頻率。

輸入電壓	$V_{AC_{MIN}}$	$V_{AC_{TYP}}$	$V_{AC_{MAX}}$	$f_L$ (Hz)
僅低壓	90 段	100/115	132 段	50/60
僅高壓	180 段	230 段	265 段	50 段
大範圍	90 段	115/230	265 段	50/60

表 2. 輸入線電壓範圍和線電壓頻率

標準輸出電壓， $V_o$  (V)

根據表 3 鍵入標準 LED 輸出電壓。從建議的  $V_o$  欄進行選擇，以實現最佳調光效能。擴大的  $V_o$  欄為使用者提供彈性，以在超過建議值的情況下使用本裝置。但是，無法保證調光回應，因此必須在實際原型中驗證。

輸入電壓範圍 ( $V_{AC}$ )	建議的 $V_o$	更大的 $V_o$
低壓或大範圍	25 - 55	15 - 72
僅高壓	25 - 80	15 - 120

表 3. 輸出電壓範圍

標準輸出電流， $I_o$  (mA)

鍵入標準輸出電流。LYT7504D 允許的最大輸出電流為 400 mA，LYT7503D 為 265 mA，以確保裝置不會達到內部限電流。 $I_o$  與  $I_{PK}$  之間的關係由以下公式確定：

$$I_{PK} \cong 3.6 \times I_o$$

輸出二極體順向式壓降， $V_D$  (V)

鍵入輸出二極體的平均順向式壓降。 $V_D$  的預設值為 0.7 V。

## 步驟 2 – 選取 LYTSwitch-7 裝置

選取 [自動] 以讓 PIXIs 選擇適當的裝置尺寸。對於手動選取，請從功率表中選取該裝置。

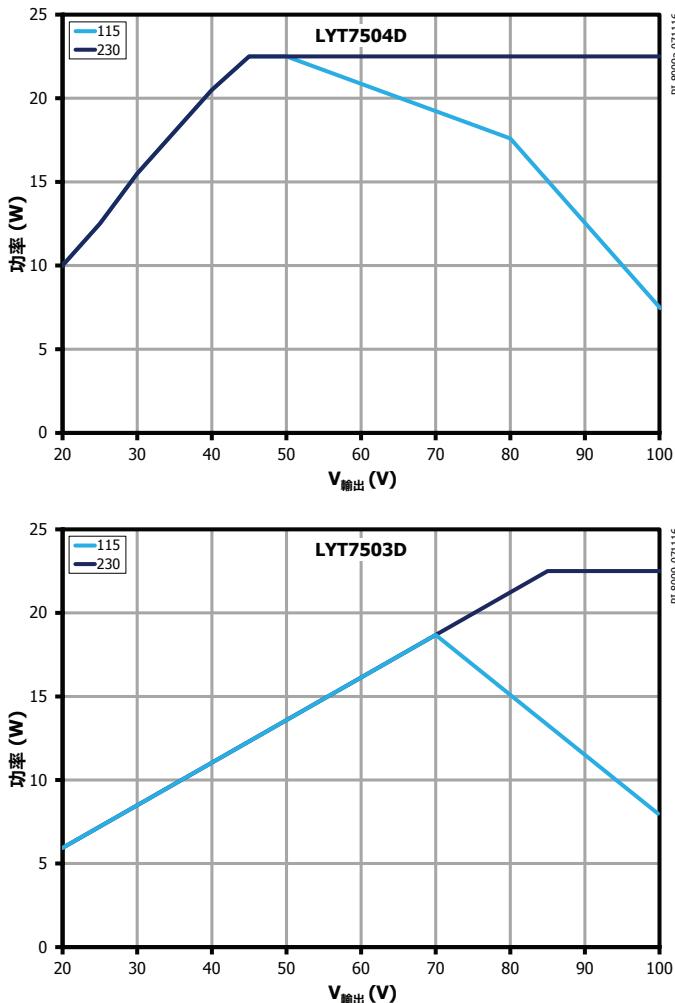


圖 12. 輸出功率圖表

鍵入 LYTSWITCH-7 變數		725 V	此試算表僅支援 725V 裝置
裝置崩潰電壓			實際的 LYTSwitch-7 裝置
裝置	自動	LYT7503D	
ILIMITMIN		1.06 A	最小限電流
ILIMITTYP		1.15 A	典型限電流
ILIMITMAX		1.24 A	最大限電流
TON		2.95 us	在 VACTYP 的固定開啟時間區域內的開啟時間
FSW		103 kHz	在 VACTYP 的固定限電流區域內的最大切換頻率
DMAX		2.40	在固定開啟時間區域內的可能的最大工作週期

圖 13. 設計試算表的「LYTSwitch-7 變數」部分

電感器設計參數		290 uH	絕對最小設計電感
LP_MIN		582 uH	典型電感
LP_TYP		10 %	設計電感的公差
LP_TOLERANCE		873 uH	絕對最大設計電感
LP_MAX			

圖 14. 設計試算表的「電感器設計」部分

## 步驟 5 – 選取飛輪二極體

根據以下項目選取飛輪二極體：

- 反向恢復時間,  $t_{RR}$  – CrM 作業允許使用具有較慢反向恢復 (最多 250 ns) 的輸出二極體。
- 反向峰值電壓,  $PIV_o$  – 選取峰值輸入電壓以上至少有 25% 餘裕的反向峰值電壓 (PIV) 額定值。
- 順向電流,  $I_F$  – 使用輸出電流  $I_o$  做為最小的順向式電流額定值。對於  $I_o$  小於 300 mA 的設計，建議使用 1 A 二極體。對於較高的輸出電流 ( $I_o$ )，請檢查順向電流降額曲線，以確定在給定工作溫度下是否需要 2 A 二極體。

## 步驟 6 – 選取輸出電容器

標準現成電感器值	
470 $\mu$ H	1800 $\mu$ H
560 $\mu$ H	2200 $\mu$ H
680 $\mu$ H	2700 $\mu$ H
820 $\mu$ H	3300 $\mu$ H
1000 $\mu$ H	3900 $\mu$ H
1200 $\mu$ H	4700 $\mu$ H
1500 $\mu$ H	5600 $\mu$ H

表 4. 標準鼓式鐵芯電感器值

鍵入電感器鐵芯/結構變數						鍵入變壓器鐵芯
鐵芯		EE13	EE13			如果使用自訂鐵芯 - 請在此處鍵入零件編號
自訂鐵芯名稱						
AE				17.10 mm <sup>2</sup>		鐵芯有效截面積
LE				30.20 mm		鐵芯有效路徑長度
AL				1130.00 nH/turn <sup>2</sup>		鐵芯無間隙有效電感
線軸繞組面積				21.28 mm <sup>2</sup>		線軸的窗口面積
線軸繞組寬度				7.40 mm		線軸實體繞組寬度
層				6.0		層數

圖 15. 設計試算表的「電感器鐵芯/結構變數」部分

即使沒有輸出電容器，LYTSwitch-7 IC 也能運作，但這樣做會產生高漣波電流。不過，通常需要限制漣波電流，以提高 LED 可靠性，並防止在調光期間發生閃光。

漣波電流是輸出電容和 LED 大電阻的函數。因此，必須調整實際 LED 負載上的輸出電容大小，以確定特定漣波電流規格所需的最小值。建議使用電壓額定值高於輸出 OVP 等級的電解電容器。

## 步驟 7 – 選取預載電阻器

需要預載電阻器以防止輸出電容器的電壓在開路負載狀況下急遽升高。建議的最小值可由以下公式得出：

$$R_{PRELOAD} = \frac{V_o}{1mA}$$

## 步驟 8 – 選取旁路電容器

BYPASS 接腳電容器的值應該夠大，才能讓 BYPASS 接腳電壓不會降至  $V_{BP}$  重設以下，尤其是在瞬間輸入電壓低於  $V_o$  時。對於大多數設計，建議使用 10  $\mu$ F 和大於 7 V 的電壓額定值。

**步驟 9 – 確定回授電阻器**請使用以下公式計算回授感測電阻器  $R_{FB}$ ：

$$R_{FB} = \frac{V_{FB(REF)}}{3.6 \times I_o}$$

其中：

 $R_{FB}$ ：回授感測電阻器 $V_{FB(REF)}$ ：回授接腳參考電壓 (-279 mV) $I_o$ ：輸出電流您可能必須微調  $R_{FB}$ ，以於標準輸入電壓條件下集中  $I_o$ 。**步驟 10 – 確定多功能接腳元件** **$R_{UPPER}$  選擇**請使用下表選取  $R_{UPPER}$  的預設值：

輸入電壓範圍	建議的 $R_{UPPER}$
僅低壓	402 kΩ, 1%, 0805
僅高壓 / 大範圍	402 kΩ, 1%, 1206

表 5. 建議的  $R_{UPPER}$  值 **$R_{LOWER}$  選擇** $R_{UPPER}$  和  $R_{LOWER}$  會構成設定輸出 OVP 階界值  $V_{OVP}$  的分壓網路。在低壓側結構中，輸出電壓是透過使用耦合電容器來感測的。這種方法讓您無需使用具有輔助繞組的變壓器型降壓式電感器。在低壓側結構中選擇  $R_{LOWER}$  時需要特別注意，以防止在正常運作期間錯誤地觸發輸出 OVP。峰值多功能接腳電壓會受到電感、 $V_o$  和輸入電壓的影響。請使用下面的公式計算低壓側結構中的適當  $R_{LOWER}$ ：

$$R_{LOWER} (Low-Side) = \frac{V_{MREF} \times R_{UPPER}}{V_{OUT} - V_{MREF}}$$

其中：

 $V_{MREF}$ ：表 6 中提供的多功能接腳參考電壓。

$F_{SW}$ (kHz)	$V_{MREF}$ (低壓側結構), V		
	高壓	低壓 / 大範圍	
>70	1.9 段	1.9 段	1.9 段
60-70	1.85 段	1.85 段	1.85 段
50-60	1.8 段	1.8 段	1.8 段
40-50	1.7 段	1.8 段	1.8 段
30-40	1.6 段	1.7 段	1.7 段
20-30	1.5 段	1.6 段	1.6 段

表 6. 低壓側結構 ( $V_{MREF}$ ) 中的參考多功能接腳電壓**耦合電容器選擇**

耦合電容器僅適用於低壓側結構。請使用 100 pF、COG 或 NPO 電介質、1 kV、陶瓷電容器。

LYTSLITCH 外部元件				
FB 接腳電阻器				
RFB_T		0.486 Ω	回授接腳感測電阻器的理論計算	
RFB		0.487 Ω	回授接腳感測電阻器的標準 1% 值	
<b>M 接腳元件</b>				
RUPPER		402.00 kOhms	M 接腳分壓網路 (E96 / 1%) 中的上方電阻器	
RLOWER		15.80 kOhms	M 接腳分壓網路 (E96 / 1%) 中的下方電阻器	
VO_OVP		62.8 V	VO 過壓臨界值	
Line_OVP		452 V	線電壓過壓臨界值	
定電流 (CC)		100 pF	適用於低壓降壓式結構的耦合電容器	
RPRELOAD		50 kOhms	最小輸出預載電阻器	
CBP		10 uF	BP 電容器	
RPB		140 kOhms	DC 匯流排與 BP 接腳之間建議的上拉電阻器	

圖 16. 設計試算表的「外部元件」部分

## 步驟 11 – 選取調光元件

要最佳化的主要調光元件在圖 17 中加強標記出來。

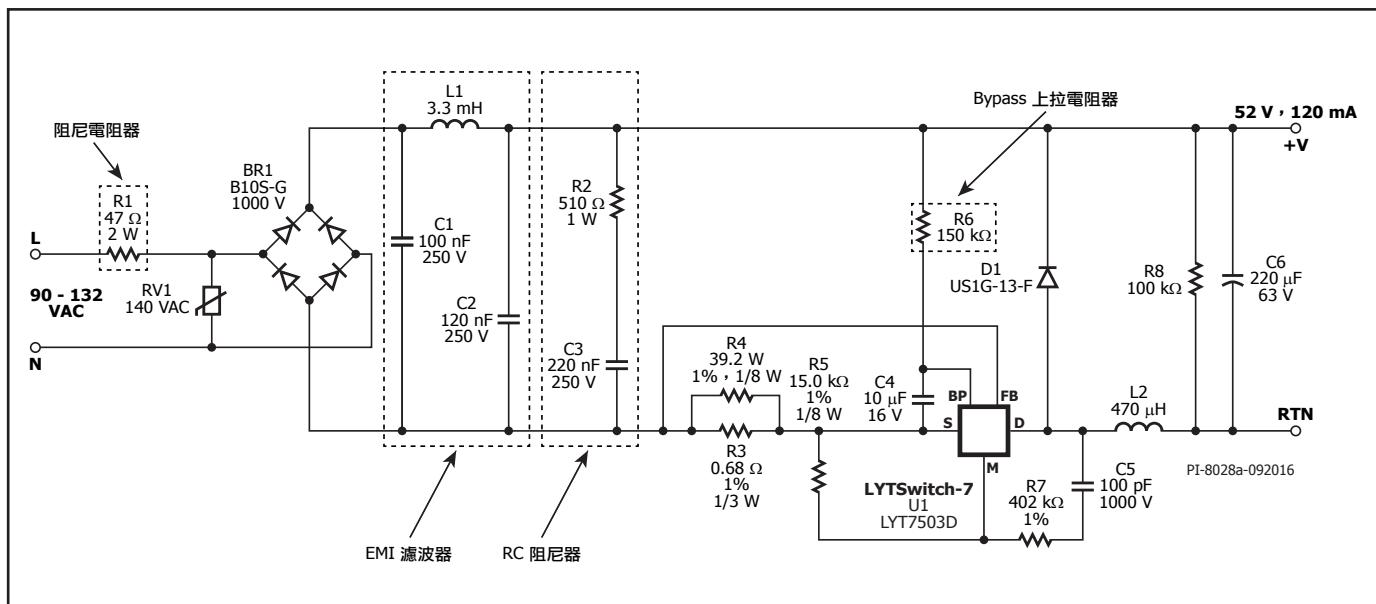


圖 17. DER-539 低壓輸入 6.24 W、52 V、120 mA 可調光非隔離式 A19 LED 驅動器，使用低壓側降壓式結構的 LYT7503D

## 阻尼電阻器

阻尼電阻器用作調光阻尼器和安全保護保險絲（必須使用安全額定的可熔類型電阻器）。其值取決於調光器類型、輸入電壓、輸出功率和效率要求。

由於使用的元件不同，不同調光器的行為各有不同。具有高鎖定和保持電流 (holding current) 要求的 TRIAC 調光器通常更具挑戰性，因為它們是為高功率負載而設計的。針對高壓操作進行的設計也更具挑戰性，因為在給定輸出功率下，輸入電流低於低壓操作時的電流。圖 19 至 22 顯示不同的電阻器值如何影響輸入電流。理想情況下，波形應如圖 22 中所示。然而，在某些情況下，此值受效率要求的限制。圖 8 提供了在給定輸出功率和輸入電壓下，建議的阻尼電阻器值。此外，表 7 提供各種 LYTSwitch-7 DER 上使用的實際調光元件。

DER #	V <sub>o</sub> (V)	I <sub>o</sub> (mA)	P <sub>o</sub> (W)	線電壓	R <sub>DAMPER</sub> (Ω)	R <sub>BLEED</sub> (Ω)	C <sub>BLEED</sub> (Ω)	效率 (%)
539 段	52 段	0.12 段	6.24 段	LL	47 段	510 段	220 段	86 段
540 段	52 段	0.09 段	4.68 段	LL	68 段	820 段	220 段	85 段
558 段	50 段	0.15 段	7.5 段	HL	100 段	510 段	220 段	85 段
561 段	60 段	0.125 段	7.5 段	WR	47 段	510 段	220 段	88 段
563 段	52 段	0.355 段	18.46 段	HL	100 段	560 段	220 段	86 段
568 段	84 段	0.12 段	10.08 段	HL	130 段	510 段	220 段	88 段

表 7. LYTSwitch-7 DER 上的調光元件值

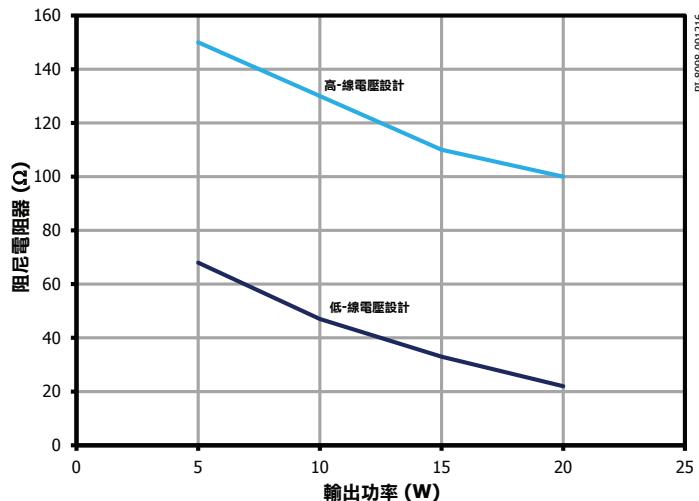


圖 18. 建議的阻尼電阻器值

圖 19 至 22 顯示在 90° 導通角下，不同阻尼電阻器值 (R1) 對 DER-539 輸入電流的效應。隨著此值的增加，阻尼效應也會增加，從而減少振盪。

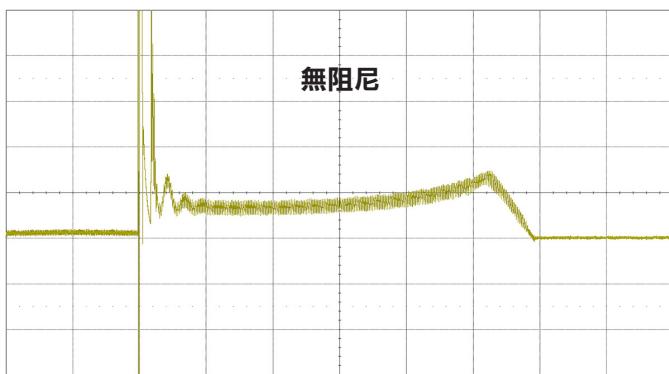
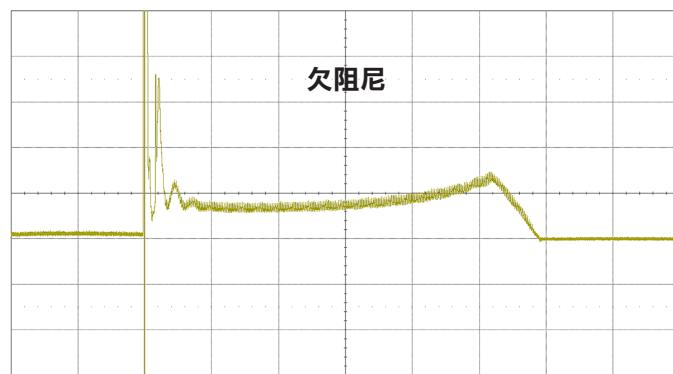
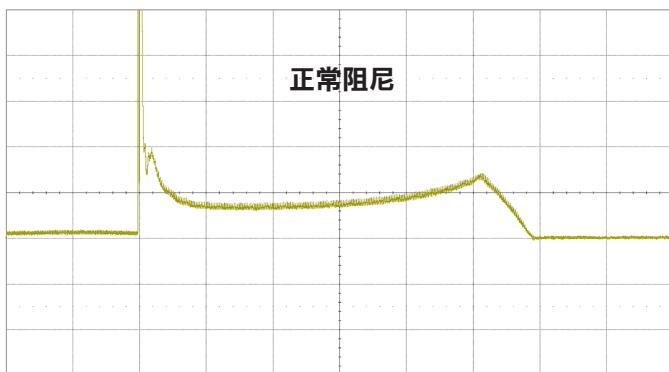
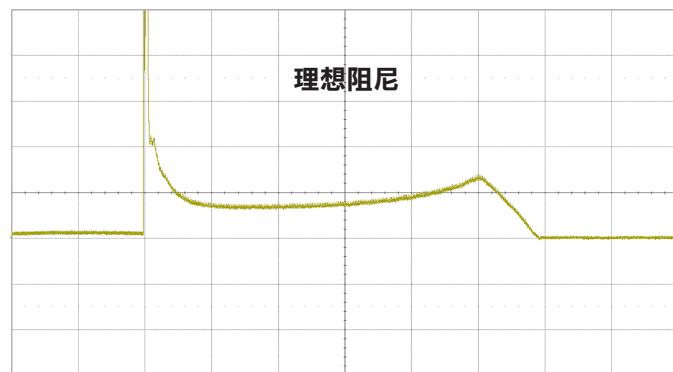


圖 19. 不使用阻尼電阻器時的輸入電流

圖 20. 使用  $10\ \Omega$  阻尼電阻器時的輸入電流圖 21. 使用  $22\ \Omega$  阻尼電阻器時的輸入電流圖 22. 使用  $47\ \Omega$  阻尼電阻器時的輸入電流

### 突波保護

MOV 用作電壓箝位，可限制由於橋式整流器 (BR1) 上的線電壓突波或線電壓上升以及控制器 (U1) 的內部 MOSFET 而造成的電壓應力。

### EMI 濾波器

建議的 EMI 濾波器使用低成本的 pi ( $\pi$ ) 結構。濾波器設計對於整體的電路效能也是至關重要，因為它會直接影響功率因數 (PF) 和調光效能。

圖 23 顯示第 1 個電容器 (C1) 對輸入電流的效應。此電容器會產生高輸入電流突波，雖然這對 TRIAC 鎖定電流有益，但是它產生的振盪可能會降至保持電流 (holding current) 以下，且可能導致閃爍，尤其是在低電容下。

如果輸入功率低於 5 W，僅需一個 LC 濾波器即可通過 EMI。然而，在某些情況下，需要第一個電容器，且建議的值為  $47\text{ nF}$  與  $100\text{ nF}$  之間。

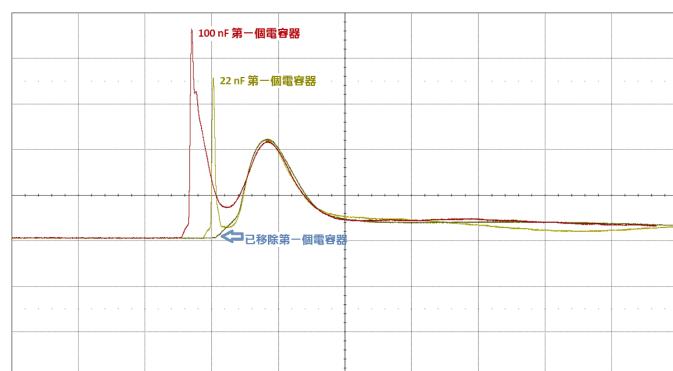


圖 23. 第 1 個濾波電容器對輸入電流的效應

第二個輸入濾波電容器 C2 的建議值為 100 nF 與 220 nF 之間。較高的值有助於抑制 TRIAC 輸入電流振盪，並且可提高相容性。但是，如果需要在 230 V 時讓功率因數 (PF) 大於 0.9，請使用 25 nF/W 以快速選取總輸入電容。對於低壓設計，即便輸入電容相對較高，也可實現高功率因數 (PF)。

濾波電感器的範圍從 1 mH 到 4.7 mH。儘量提高輸入電容值，以使用儘可能最小的電感。為此電感器選擇適當的電流額定值，它可能會製造噪音，尤其在 TRIAC 開啟時由於浪湧電流而導致電感器飽和的情況下會進行調光。

#### 選取 RC 阻尼器

RC 阻尼器電路的重要性在於，當調光器切換開關中的 TRIAC 已開啟時，抑制由 EMI 濾波器諧振引起的振盪。它可防止輸入電流振盪至低於 TRIAC 保持電流 (holding current) ( $I_{\text{HOLD}}$ )。圖 24 顯示調光期間 RC 阻尼器電路對輸入電流波形的效應。

對於大多數設計，R 和 C 的有效典型值分別為 510  $\Omega$  和 220 nF。請參閱表 7，瞭解各種 LYTSwitch-7 DER 上使用的實際 RC 阻尼器值。使用這些值作為最佳化調光器相容性的起點。

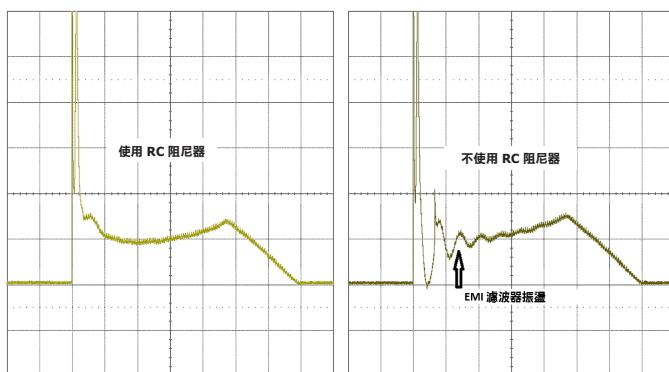


圖 24. 顯示 RC 阻尼器對輸入電流振盪的效應

#### RC 阻尼器的位置

RC 阻尼器 (R2 和 C3) 的典型位置是在 pi ( $\pi$ ) 濾波器之後 (圖 17)。此結構可使大多數上升邊緣調光器提供良好的調光比 (高於 10:1)。然而，視特定 TRIAC 調光器機型或品牌的最大導通角而定，如果較低 (即導通角小於 150°)，則相對於未連接調光器的情況，使用此類調光器時的最大輸出電流會較低。要提高電流，將 RC 阻尼器裝配在橋接器之前可增加導通角，但會縮小調光範圍。圖 25 顯示 RC 位置給輸出電流以及使用典型 TRIAC 調光器之 DER-539 的調光效能所帶來的差異。

#### 確定 Bypass 上拉電阻器

隨著導通角逐漸變小而進行調光的期間，汲極上的電壓會逐漸降低，且非切換時間 (死區) 會逐漸延長，直到來自汲極的內部供電無法再為控制器維持 Bypass 供電為止。在上述情況下必須將 Bypass 電壓保持在 4.5 V 以下，否則 IC 將重設並停止切換。

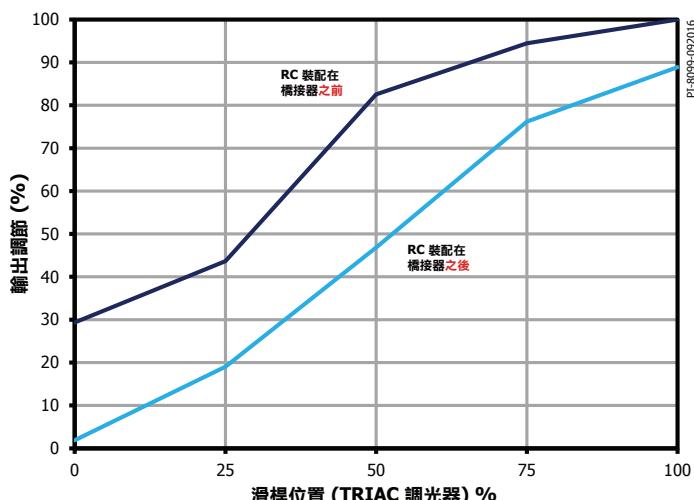


圖 25. RC 阻尼器位置對調光曲線的效應

建議按圖 17 所示，在整流 DC 匯流排與 BYPASS 接腳之間新增一個上拉電阻器 ( $R_{\text{BP}}$ ) 或 R6，這樣，即便導通角較小，IC 也能正常運作。建議的電阻器值使用公式 6 (Eq.6) 進行計算。這可確保 Bypass 電壓始終高於 4.5 V，即便在深度調光下也如此。

$$R_{\text{BP}} = \frac{V_o \times 0.8 - 5V}{250 \mu\text{A}} \quad (\text{Eq.6})$$

必須針對高壓操作適當調整電阻器功率額定值的大小，因為視最大輸入電壓而定，功率消耗可能會較高。使用公式 6 作為基準值，並在必要時調整電阻器，以降低功率損失，同時在深度調光下將 Bypass 電壓保持在 4.5 V 以上。

#### 設計法摘要

1. 使用 PIXIs 來設計磁性元件並選取所需的元件。
2. 最佳化 EMI – 較高的輸入電容可提高相容性，因此，透過瞭解 EMI 所需的最小電容，便能確定為實現調光器相容性而進行最佳化之後將通過 EMI。
3. 最佳化相容性
  - 選取阻尼電阻器
  - 選取 RC 阻尼器
  - 確定  $R_{\text{BP}}$

#### 保護功能

##### SOA 保護

在開機、輸出過載或短路狀況下，低輸出電壓或無輸出電壓可能導致以深度的連續導通模式 (CCM) 運作，因為在飛輪導通期間沒有為電感器中儲存的能量提供足夠的放電時間，MOSFET 電流可以累積到超出安全工作區 (SOA) 限制，進而造成損害。在降壓式架構中，這會表現得比任何其他架構更嚴重。LYTSwitch-7 IC 具備的保護功能可防止此狀況，當峰值電流在 500 ns 內達到工作電流限制時，即會偵測到 SOA 狀況。如果偵測到 SOA 狀況，則在偵測到 SOA 脈衝之後，將會跳離八個切換脈衝 ( $F_{\text{MIN}}$  週期)，以在啟用下一個切換週期之前將電感器電流重設為零。

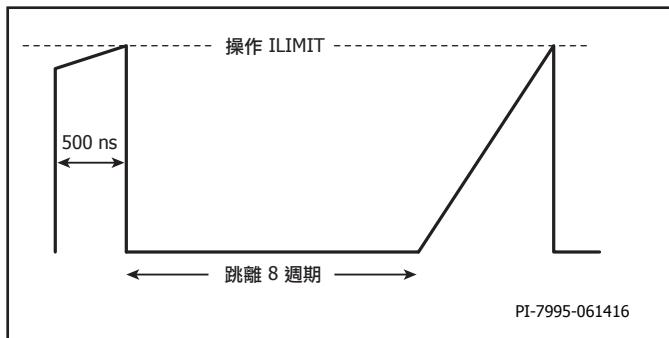


圖 26. SOA 跳離週期時序

#### 輸出短路保護

在發生輸出短路的情況下，當觸發 SOA 事件時，將會啟用脈衝跳躍模式。如果輸出短路持續超過 2 個 SOA 事件，則會在嘗試下一次切換之前啟用 100 ms 自動重新啟動延遲。如果在兩次 100 ms 自動重新啟動嘗試後 SOA 故障仍然存在，則會將延遲增加到 1 s。

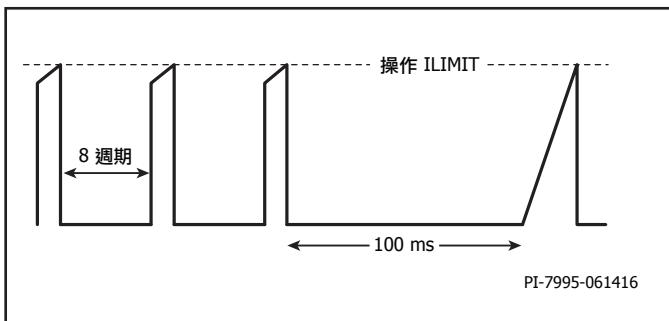


圖 27. 三個連續的 SOA 事件時序

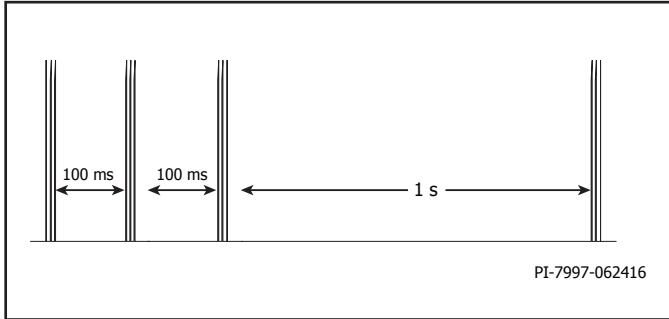


圖 28. 1 s 自動重新啟動

在某些情況下，裝置無法偵測到 3 個連續的 SOA 事件。使用多功能接腳欠壓可提供二次側保護。

#### 多功能接腳欠壓保護

如果讓多功能接腳電壓保持低於 1 V 達 500 ms，裝置將會觸發 1s 自動重新啟動。這可能會在輸出短路時發生。圖 29 – 多功能接腳欠壓自動重新啟動時序。

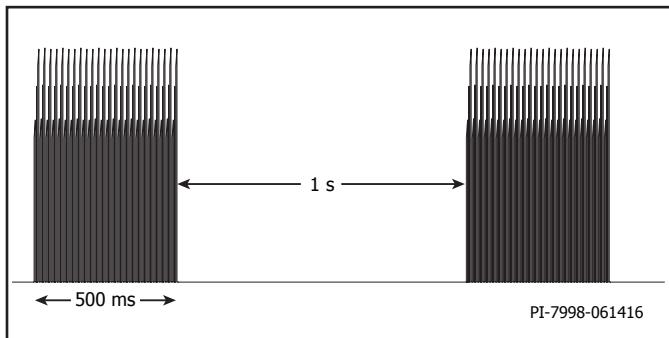


圖 29. 多功能接腳欠壓自動重新啟動時序

#### 輸入過壓保護

當 MOSFET 開啟時，多功能接腳基本上會短路到源極，並在通過  $R_{UPPER}$  的電流超過 1 mA 時觸發線路 OVP。一旦觸發故障，切換將會立即停止，而裝置則會進入自動重新啟動。

$$VIN_{OVP} = 1 \text{ mA} \times R_{UPPER} + V_{OUT} \quad (\text{公式 7})$$

#### 輸出過壓保護

在飛輪二極體導通時間期間，如果多功能接腳上的電壓超過  $V_{OVP}$  (2.4 V) 達 500 ms，將會觸發輸出 OVP，而且裝置將會進入自動重新啟動。

$$V_{OUT\_OVP} = V_{OUT} \times \frac{2.4 \text{ V}}{V_{MREF}} \quad (\text{公式 8})$$

#### 過電流保護

達到內部限電流時 (例如當  $R_{FB}$  短路時)，裝置將會進入自動重新啟動。

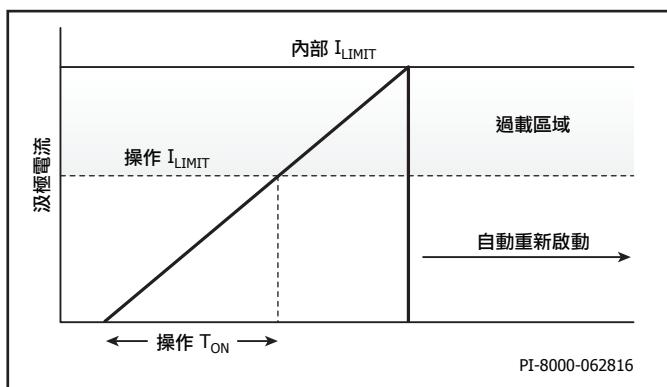


圖 30. 過電流保護

#### 過熱保護和過溫關機

當接面溫度超過 145 °C 時，過熱保護便會啟動。輸出電流會線性下降約 -2.5% / °C，直到在 160 °C 觸發過溫關機為止。當溫度降至 85 °C 時，裝置將會自動恢復。

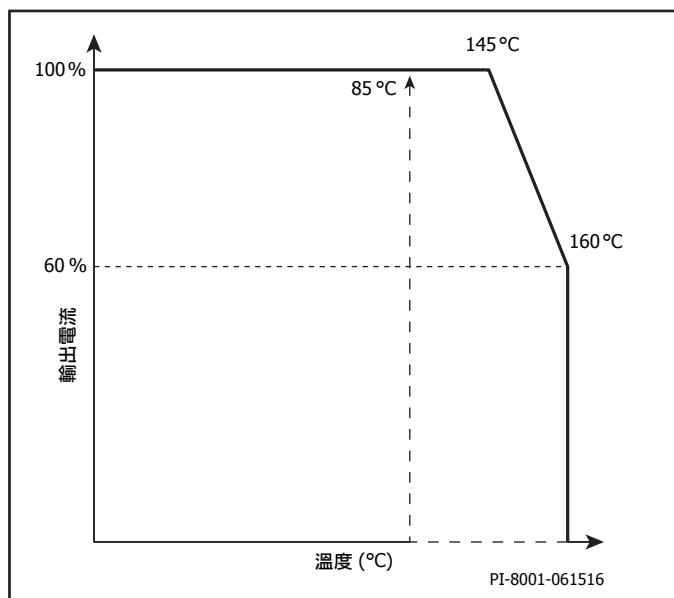


圖 31. 過熱保護和 OTP

### LED 相容調光器說明

由於白熾燈逐漸遭到淘汰，且店里銷售的許多新調光器現在都與 LED 相容，因此，任何新產品僅聲稱能與這些最新調光燈搭配運作是合理的。

一些相切調光器專為與可調光 LED 燈泡搭配使用而設計。通常只需查看調光器標示上的「LED」標記，即可獲悉此資訊。對於這些調光器，移除 RC 阻尼器後仍可相容。

表 8 中的特定調光器已經過驗證，可在無 RC 阻尼器的情況下採用 DER-539 時正常運作。

品牌	型號
Lutron	LGCL-153PLH-WH
Lutron	DVWCL-153PH-WH
Lutron	TGCL-153PH-WH
Lutron	CTCL-153PDH-WH
Leviton	IPL06
Leviton	6674 段

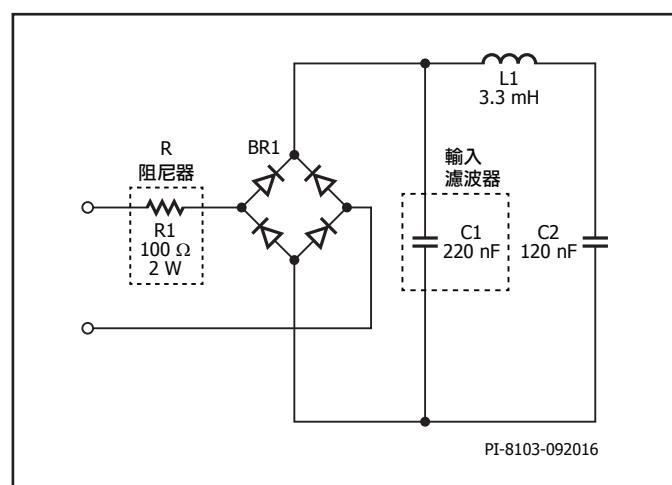
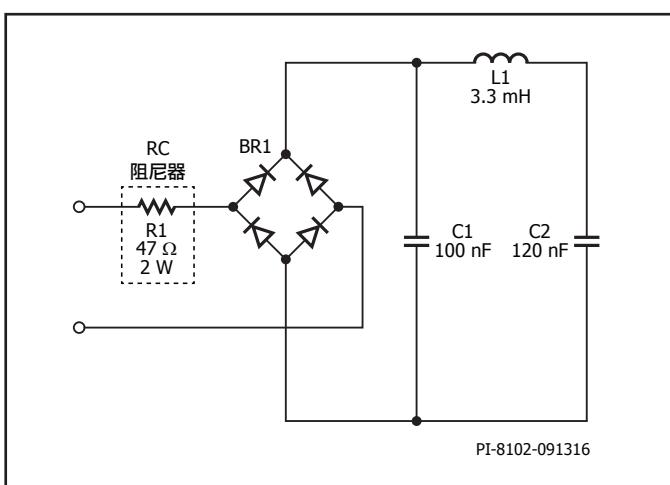
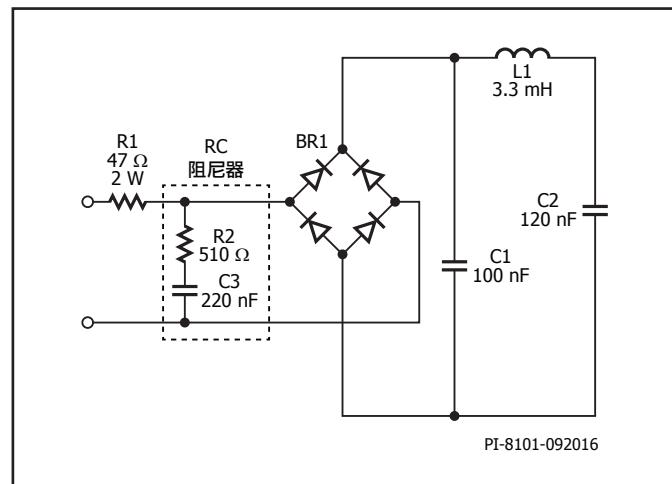
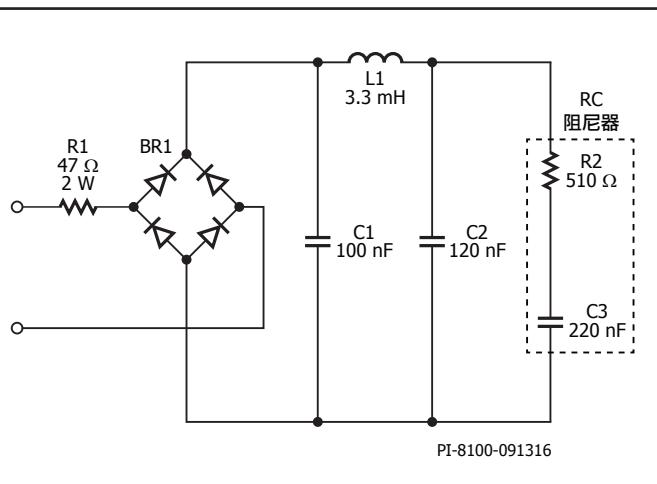
表 8. 與採用 LYTSwitch-7 之 LED 驅動器相容的低壓調光器範例

由於某些調光器與 LED 驅動器相容，使用者可選擇試驗最適合待用調光器的不同輸入結構。

表 9 總結了對圖 32 至 35 中顯示的四種電路結構進行的一般觀察。

效能標準	結構 1 段	結構 2 段	結構 3 段	結構 4 段
相容性	高	中	低	中
效率	中	中	高	低
BOM 成本	高	高	低	中
調光比	高	中	高	高
在最大導通下使用調光器時的 輸出電流降低	中	低	低	低

表 9. LYTSwitch-7 不同輸入電路結構的相對效能比較



## PCB 佈局考量

如圖 36 所示，EMI 濾波器元件的位置應彼此靠近，以提高濾波效用。將 EMI 濾波器元件 C1 和 L1 裝配在電路板上盡可能遠離任何切換節點（尤其是 U1 汲極節點、輸出二極體（D1）和電感器（T1）的位置）。

裝配重要 IC 元件（即 R3、R4、R5、R9、R10、C5 和 C4）時應小心謹慎。強烈建議將這些元件裝配在電路中非常靠近控制器 U1 接腳（可將用作天線的長 Trace 縮至最短）但盡量遠離任何高壓和/或高電流切換節點的位置，以避免可能產生的噪音耦合影響系統運作。

BYPASS 供電電容器 C4 應直接裝配在 U1 的 BYPASS 接腳和源極接腳上，以便有效降低噪音。

將下列切換電路組成部分的迴路面積縮至最小（如圖 8 所示），以減少 EMI 產生。

- 由電感器繞組（T1）、飛輪整流器二極體（D1）和輸出電容器（C6）構成的迴路面積。
- 由輸入電容器（C2）、控制器內部 MOSFET（U1）、飛輪整流器二極體（D1）和感測電阻器（R4、R5）構成的迴路面積。

LYTswitch-7 IC 採用低壓側結構，並利用接地電位源極接腳進行散熱。如此可讓設計人員將銅箔增至最大，以達到良好的散熱管理，而不會增加 EMI。

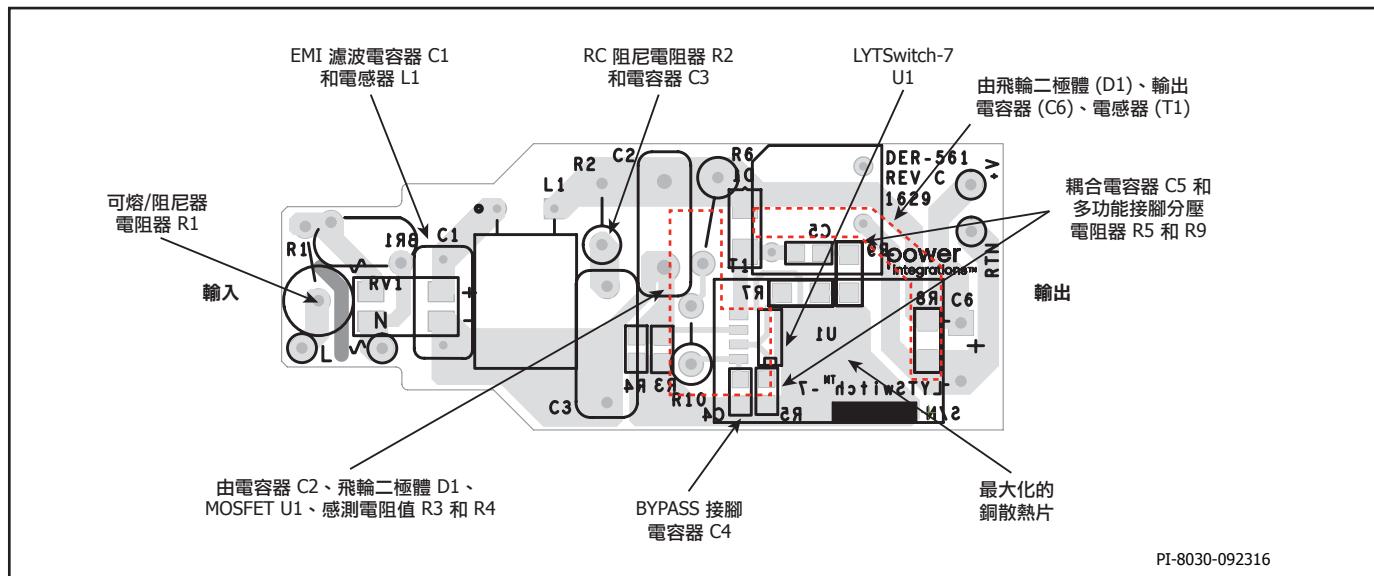


圖 36. DER-561 PCB 佈局設計範例，顯示採用降壓式結構之 LYTswitch-7 的關鍵迴路面積

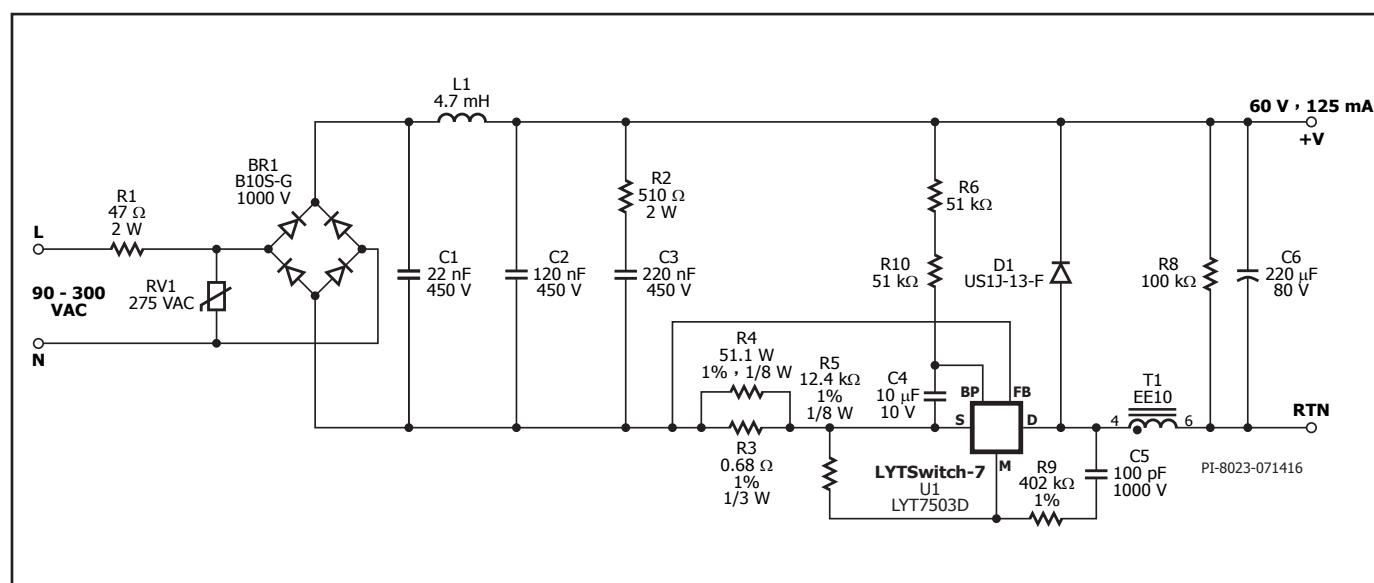


圖 37. DER-561 電路圖設計範例

## 快速設計檢查清單

### 最大汲極電壓

確認在任何工作條件 (包括啟動和故障情況) 下，峰值汲極電壓應力 (VDS) 均不會超過 725 V。

### 最大汲極電流

測量所有工作條件 (包括啟動和故障情況) 下的峰值汲極電流。查看電感器飽和 (通常發生於工作環境溫度最高時)。確認峰值電流低於產品規格型錄中所載明的「絕對最大額定值」。

### 散熱檢查

在最大輸出功率下，對於最小和最大線電壓及最大環境溫度，確認未超出元件溫度限制。

### 設計工具

Power Integrations 網站上提供了有關設計工具的最新資訊，網址為：[www.power.com](http://www.power.com)

LYTSwitch-7 PIXIs 設計試算表可透過 PI Expert 於線上存取：  
<https://piexpertonline.power.com/site/login>。

修訂	附註	日期
A	初始版本。	9 月 16 日

## 如需最新更新，請瀏覽我們的網站：[www.power.com](http://www.power.com)

Power Integrations 保有隨時對其產品進行變更以提升可靠性或可製造性的權利。Power Integrations 對因使用此處所述的任何裝置或電路所造成的損失概不負責。Power Integrations 在本文中不提供任何保證，並明確否認所有保證，包括但不限於對適售性、特定目的之適用性以及不侵犯第三方權利的默示保證。

### 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結構和電路）。[www.power.com](http://www.power.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.power.com/ip.htm>。

### 生命支援政策

未經 Power Integrations 總裁明確的書面許可，不可將 Power Integrations 產品用作生命支援裝置或系統的關鍵元件。具體說明如下：

1. 生命支援裝置或系統係指 (i) 透過外科手術植入人體的裝置，或 (ii) 支援或維持生命的裝置，以及 (iii) 根據合理推斷，遵循使用指示正確使用而無法正常執行功能時，會導致使用者重大傷害或死亡的裝置。
2. 關鍵元件係指生命支援裝置或系統中，根據合理推斷，無法正常執行功能時會導致生命支援裝置或系統出現故障，或是影響其安全或有效性的任何元件。

PI 標誌、TOPSwitch、TinySwitch、SENZero、SCALE-iDriver、Qspeed、PeakSwitch、LYTSwitch、LinkZero、LinkSwitch、InnoSwitch、HiperTFS、HiperPFS、HiperLCS、DPA-Switch、CAPZero、Clampless、EcoSmart、E-Shield、Filterfuse、FluxLink、StakFET、PI Expert 和 PI FACTS 均為 Power Integrations, Inc. 的商標。其他商標為其個別公司之財產。©2016, Power Integrations, Inc.

## Power Integrations 全球銷售支援地點

### 全球總部

5245 Hellyer Avenue  
San Jose, CA 95138, USA.  
總機：+1-408-414-9200  
客戶服務：  
電話：+1-408-414-9665  
傳真：+1-408-414-9765  
電子郵件：[usasales@power.com](mailto:usasales@power.com)

### 中國（上海）

中國上海漕溪北路 88 號  
聖愛廣場 2410 室，  
郵遞區號：200030  
電話：+86-21-6354-6323  
傳真：+86-21-6354-6325  
電子郵件：[chinasales@power.com](mailto:chinasales@power.com)

### 中國（深圳）

中國深圳南山區科技南八道 2 號  
豪威大廈 17 樓，  
郵遞區號：518057  
電話：+86-755-8672-8689  
傳真：+86-755-8672-8690  
電子郵件：[chinasales@power.com](mailto:chinasales@power.com)

### 德國

Lindwurmstrasse 114  
80337 Munich  
Germany  
電話：+49-895-527-39110  
傳真：+49-895-527-39200  
電子郵件：[eurosales@power.com](mailto:eurosales@power.com)

### 德國

HellwegForum 1  
59469 Ense  
Germany  
電話：+49-2938-64-39990  
電子郵件：[igbt-driver.sales@power.com](mailto:igbt-driver.sales@power.com)

### 印度

#1, 14th Main Road  
Vasanthanagar  
Bangalore-560052 India  
電話：+91-80-4113-8020  
傳真：+91-80-4113-8023  
電子郵件：[indiасales@power.com](mailto:indiасales@power.com)

### 義大利

Via Milanese 20, 3rd.FL.  
20099 Sesto San Giovanni (MI) Italy  
電話：+39-024-550-8701  
傳真：+39-028-928-6009  
電子郵件：[eurosales@power.com](mailto:eurosales@power.com)

### 日本

Kosei Dai-3 Bldg.  
2-12-11, Shin-Yokohama,  
Kohoku-ku  
Yokohama-shi, Kanagawa  
222-0033 Japan  
電話：+81-45-471-1021  
傳真：+81-45-471-3717  
電子郵件：[japansales@power.com](mailto:japansales@power.com)

### 韓國

RM 602, 6FL  
Korea City Air Terminal B/D, 159-6  
Samsung-Dong, Kangnam-Gu,  
Seoul, 135-728, Korea  
電話：+82-2-2016-6610  
傳真：+82-2-2016-6630  
電子郵件：[koreasales@power.com](mailto:koreasales@power.com)

### 新加坡

51 Newton Road  
#19-01/05 Goldhill Plaza  
Singapore, 308900  
電話：+65-6358-2160  
傳真：+65-6358-2015  
電子郵件：[singaporesales@power.com](mailto:singaporesales@power.com)

### 台灣

台灣台北市內湖路 1 段  
318 號 5 樓，  
郵遞區號：11493  
電話：+886-2-2659-4570  
傳真：+886-2-2659-4550  
電子郵件：[taiwansales@power.com](mailto:taiwansales@power.com)

### 英國

Cambridge Semiconductor  
(Power Integrations 的一家公司)  
Westbrook Centre, Block 5, 2nd Floor  
Milton Road  
Cambridge CB4 1YG  
電話：+44 (0) 1223-446483  
電子郵件：[eurosales@power.com](mailto:eurosales@power.com)