

# 应用指南AN-68 LYTSwitch-7产品系列

## 设计指南

### 背景介绍

随着LED产品逐步成为市场主流，降低制造成本的压力已成为最大挑战。根据美国能源部(DOE)对典型A19灯泡的成本分解预测，LED驱动器大约占系统成本的15%至20%。因此，所有LED OEM厂商都必须设法降低驱动器的BOM成本，以适应竞争激烈的市场环境。

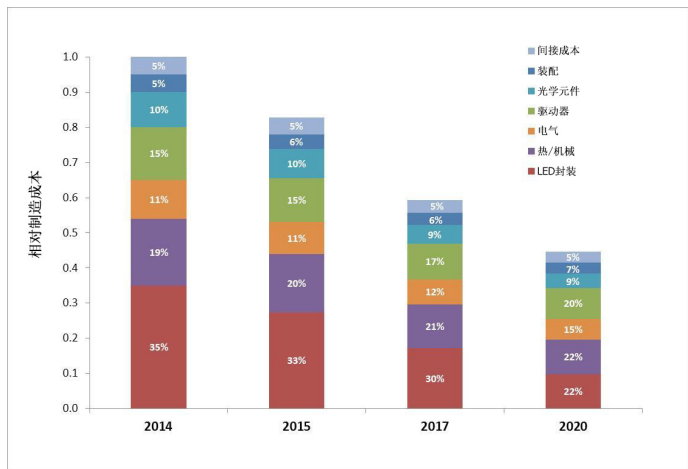


图1. 典型A19替换灯泡的成本分解预测  
(资料来源: DOE固态照明圆桌会议和研讨会与会者)

调光LED驱动器电路通常较为复杂，需要使用大量元件才能与替换型调光器实现兼容，此类调光器主要用于白炽灯泡等大功率电阻性负载。

LYTSwitch-7 IC可完美提供这种调光兼容性，同时还能兼顾到低成本且高可靠性方案的需求。

### 简介

LYTSwitch™-7产品系列非常适合低成本的单级、高功率因数(PF)、恒流、无泄放电路、可调光LED灯泡。

该产品系列集成了一个高压MOSFET和导通时间可变的临界导通模式(CrM)控制器。全面的保护功能加上最少的外围元件数，造就了业界领先的功率密度和功能性。

低端配置允许使用一个上拉电阻连接直流总线和旁路引脚，无需使用偏置绕组，并且允许使用低成本的市售标准鼓状磁芯。

带自动重启的保护特性包括输入及输出过压保护、输出短路保护以及开环保护。

热折返特性可确保在高温下仍能提供照明输出。过热关断功能可以在故障条件提供保护。

所采用的控制算法可提供快速导通、低“点亮”启动点、优于10:1的调光比以及单向调光响应。

### 范围

本应用指南的适用对象为使用LYTSwitch-7系列器件设计非隔离式AC-DC降压电源的工程师。本文档将提供非常详细的设计步骤，涉及所有电路元件的选择。

本应用指南使用基于设计表格的应用程序PIXIs Designer进行设计，能让电源设计师在设计过程中获得更多的控制。该软件是PI Expert™设计软件套件的一部分，可从以下网址下载：<http://www.power.com/en/design-support/pi-expert-design-software>。

除了本应用指南之外，您还会发现LYTSwitch-7参考设计套件(RDK，其中包括工程原型板、工程报告及器件样品)非常有用，可作为新设计的起点。

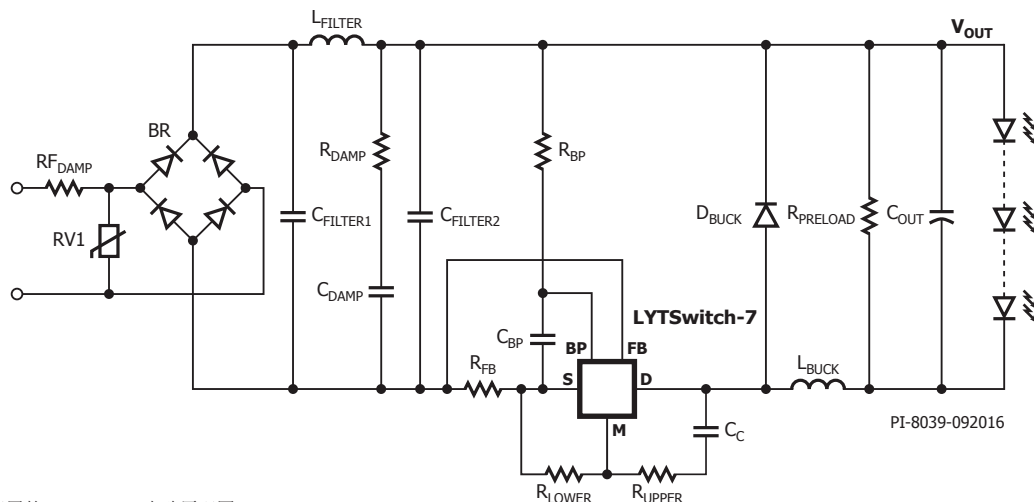


图2. 采用低端降压配置的LYTSwitch-7电路原理图

引脚功能描述

引脚名称	功能
旁路(BP)引脚	提供5.22 V供电电压
多功能(M)引脚	模式1: MOSFET关 <ul style="list-style-type: none"> <li>通过检测电感去磁(ZCD)确保CrM模式</li> <li>输出过压保护检测</li> <li>稳态工作电压范围为[1 V – 2.4 V]</li> </ul> 模式2: MOSFET开 <ul style="list-style-type: none"> <li>输入过压保护检测</li> </ul>
反馈(FB)引脚	<ul style="list-style-type: none"> <li>MOSFET电流检测采用外部电流检测电阻</li> <li>额定工作电压范围为[V<sub>FB(REF)</sub> – 0 V]</li> </ul>
漏极(D)引脚	内部MOSFET高压端
源极(S)引脚	功率及信号接地端

表1. 引脚功能描述

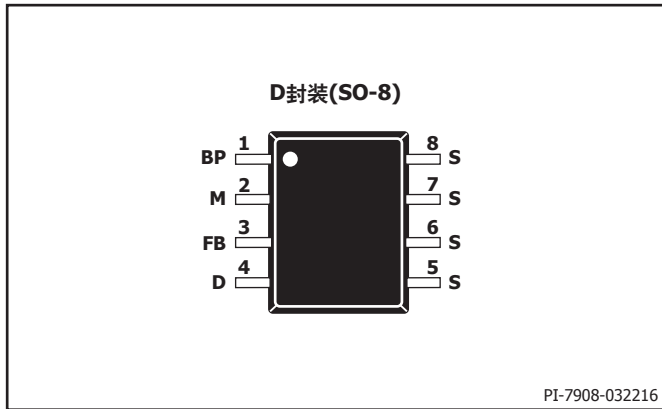


图3. LYTSwitch-7引脚配置

LYTSwitch-7的工作方式

LYTSwitch-7 IC采用临界导通模式(CrM)降压拓扑进行工作，

其输出电流等于电感平均电流。

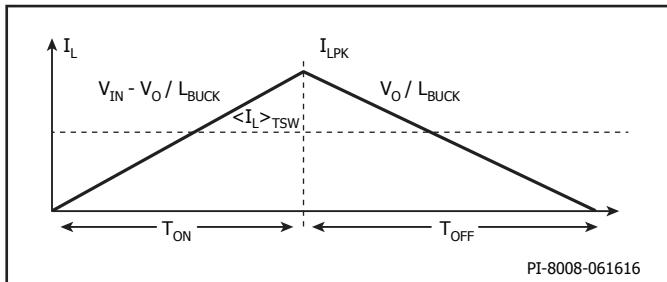


图4. 临界导通模式(CrM)电感的电流特征

当没有连接调光器时，LYTSwitch-7 IC维持恒流(CC)调整，具体做法是：强制峰值限流并控制T<sub>ON</sub>，在恒流区域内的时间(t<sub>CC</sub>)与死区内的时间(T<sub>DZ</sub>)之间维持恒定的比值。

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

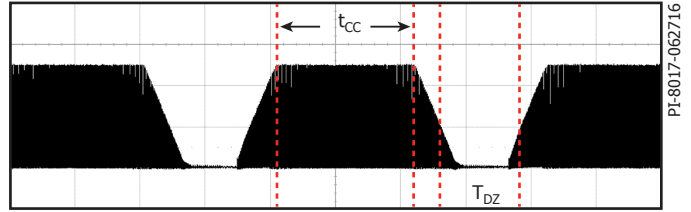


图5. LYTSwitch-7恒定比值控制方案

当工作于切相模式时，LYTSwitch-7将通过调整T<sub>ON</sub>尝试将比值维持在1。一旦达到T<sub>ON(MAX)</sub>，自然地获得调光效果 – 例如，导通角变化会减小平均电感电流，进而减小输出电流。

图6至图9进一步举例说明了如何DER-539使用LYTSwitch-7 IC实现调光。

未连接调光器

输出电流达到最大值，t<sub>CC</sub>/T<sub>DZ</sub> = 1。T<sub>ON</sub> < T<sub>ON(MAX)</sub>°

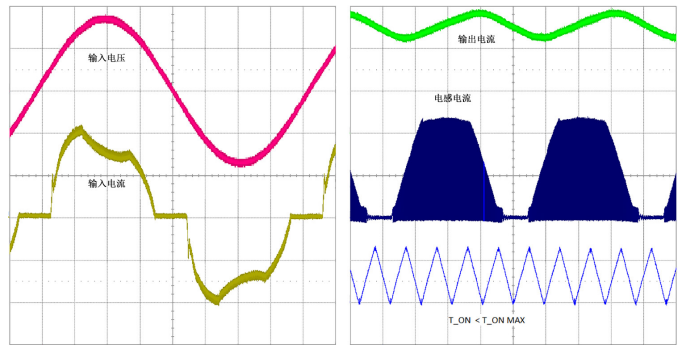


图6. 在完全交流导通下的输入和输出波形

切相调光，150°导通角

输出电流自然减小。维持比值t<sub>CC</sub>/T<sub>DZ</sub> = 1。T<sub>ON</sub> < T<sub>ON(MAX)</sub>°

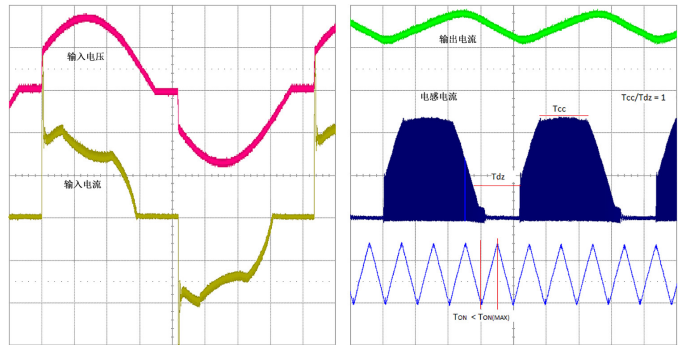


图7. 在150°导通角下的输入和输出波形

切相调光, 90°C导通角

由于相切而进一步减小输出电流。比值 $t_{CC}/T_{DZ} < 1$ 。  $T_{ON} = T_{ON(MAX)}$ 。 基于峰值电流进行开关, 输入电压降低时会减小输入电流。

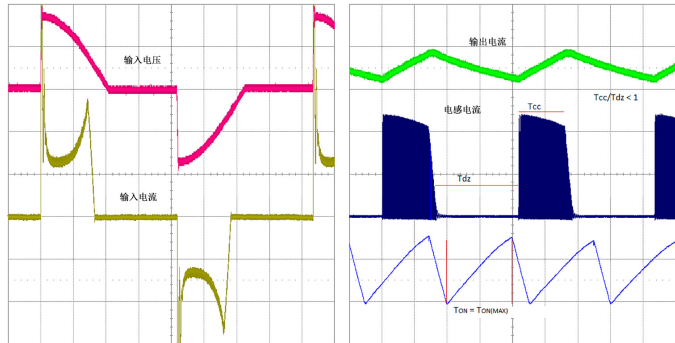


图8. 在90°C导通角下的输入和输出波形

切相调光, 60°C导通角

$T_{ON}$ 保持在 $T_{ON(MAX)}$ 。 输出电流自然减小。输入电压降低时, 输入电流自然增大, 从而使可控硅调光器保持正常工作。

图10所示为LYTSwitch-7 IC的典型调光曲线, 可轻松达到NEMA SSL7A-2015标准。

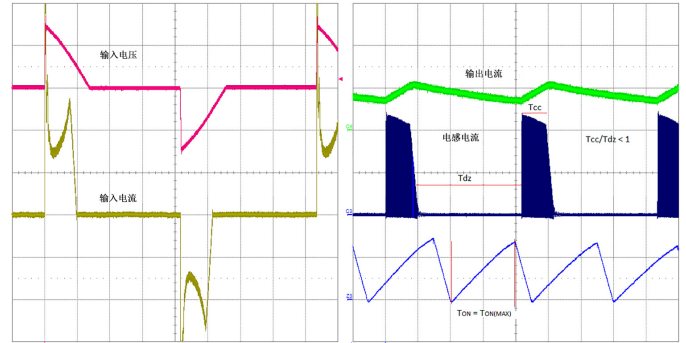


图9. 在60°C导通角下的输入和输出波形

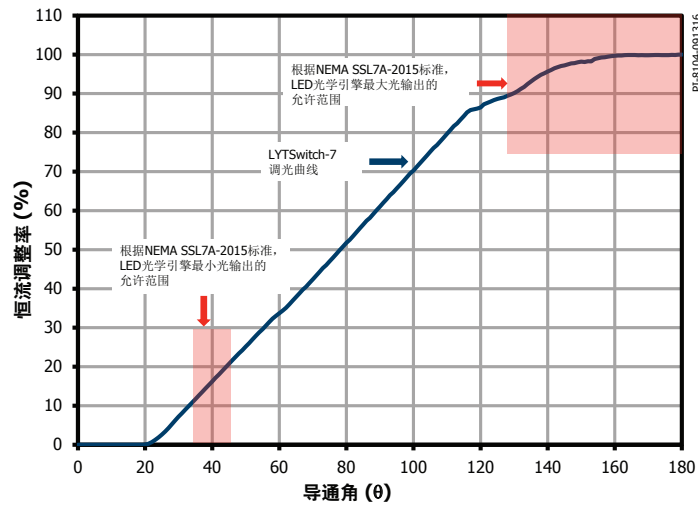


图10. LYTSwitch-7调光曲线相对于SSL7A-2015限值的变化

## 详细设计步骤

第1步 – 输入应用变量  $V_{AC_{MIN}}$ 、 $V_{AC_{TYP}}$ 、 $V_{AC_{MAX}}$ 、 $f_L$ 、 $V_O$ 、 $I_O$ 、 $V_D$  以及优化参数

输入应用参数				
输入电压范围			低输入电压	交流输入电压范围
VACMIN			90 V	最小交流输入电压
VACTYP			115 V	典型交流输入电压
VACMAX			132 V	最大交流输入电压
FL			50 Hz	AC电网频率
VO			50 V	输出电压
IO			160 mA	平均输出电流规格
EFFICIENCY			0.90	效率估计值
PO			8.00 W	连续输出功率
VD			0.70 V	输出二极管正向电压降

图11. 设计表格中的应用变量部分

## 输入电压范围及工频

根据表2确定输入电压范围和工频。

输入电压	$V_{AC_{MIN}}$	$V_{AC_{TYP}}$	$V_{AC_{MAX}}$	$f_L$ (Hz)
仅低输入电压	90	100/115	132	50/60
仅高输入电压	180	230	265	50
宽范围	90	115/230	265	50/60

表2. 输入电压范围及工频

额定输出电流,  $I_O$  (mA)

输入额定输出电流。LYT7504D的最大允许输出电流是400 mA，LYT7503D的则为265 mA，这样可确保器件不会达到内部限流点。 $I_O$ 与 $I_{PK}$ 的关系可表示如下：

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

输出二极管正向电压降,  $V_D$  (V)

输入输出二极管的平均正向电压降。 $V_D$ 的默认值为0.7 V。

额定输出电压,  $V_O$  (V)

根据表3输入额定LED输出电压。从推荐电压 $V_O$ 栏选择电压值，以获得最佳调光性能。扩展电压 $V_O$ 栏为用户提供更大的灵活性，可选择超出推荐值的器件。但是，无法保证调光响应速度，必须在实际原型设计中进行验证。

输入电压范围 ( $V_{AC}$ )	推荐电压 $V_O$	扩展电压 $V_O$
低输入电压或宽范围	25 - 55	15 - 72
仅高输入电压	25 - 80	15 - 120

表3. 输出电压范围

## 第2步 – 选择LYTSwitch-7器件

选择“自动”让PIXIs选择相应的器件型号。手动选择时，从功率表中选择器件。

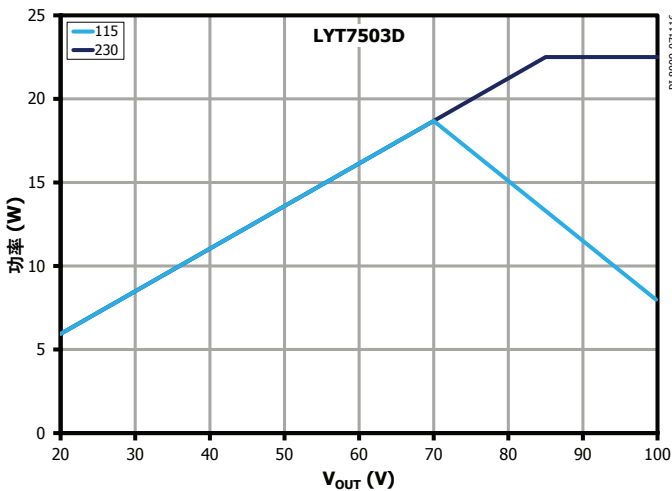
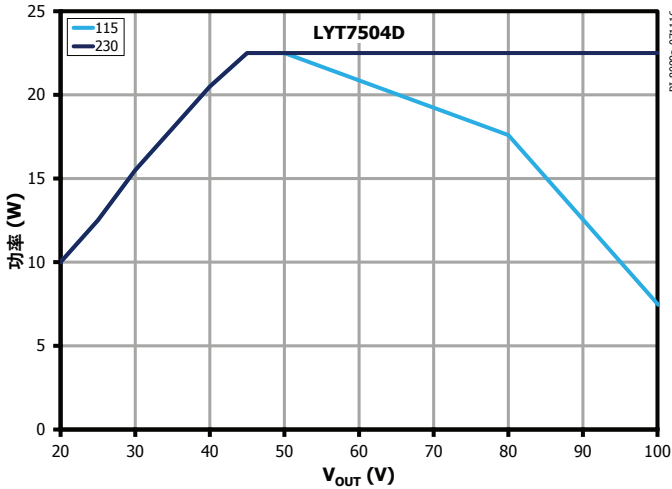


图12. 输出功率表图形

## 第3步 – 确定输出电感

设计表格会计算要使用的推荐电感值， $L_{P(TYP)}$ 。它还会计算电感范围，以便能使用介于 $L_{P(MIN)}$ 与 $L_{P(MAX)}$ 之间的任意值。计算过程会考虑下列设计参数，以获得与工作电感有关的最佳性能。

- 开关频率 – 电感值越大，峰值开关频率就越小。这可以让用户调整开关频率，改善EMI性能。
- 电感/骨架大小 – 电感值越大，圈数就越多并且磁芯尺寸就可能越大。
- 输入电压调整率 – 电感值越大，输入电压调整率就越小。

## 第4步 – 选择输出电感的类型

用户可以选择使用骨架型电感，也可以选择市售标准鼓状磁芯电感。鼓状磁芯电感比骨架型电感便宜很多。

### 关于使用非屏蔽鼓状磁芯的技巧

LYTSwitch-7 IC低端开关降压拓扑允许使用具有低EMI的非屏蔽鼓状磁芯。推荐利用下列技巧来确保性能的一致性。对系统中电感（主电感和EMI电感）的位置进行管理，旨在防止这些电感之间发生磁通耦合以及磁通短路至导电表面。

- 如果输入滤波电感和输出电感都是非屏蔽的，应在两者之间提供足够的间隙。
- 由于输出电解电容使用铝质金属外壳，应在输出电感和电容之间提供足够的电气间隙。
- 如可能，将电感放置在PCB板的中间，使其远离金属外壳。检验确认输出调整率和EMI并未受到金属外壳内驱动器的影响。
- 确定电感的方位，以便磁通互为对立。可能需要控制鼓状磁芯的起始绕组，当鼓状磁芯电感插入PCB时保持其方位不变。

在PIXIs中，从常用变压器磁芯列表进行选择，或者在使用不同的磁芯时选择“自定义”并填写参数。如果使用鼓状磁芯，则选择“市售标准”。标准值见表4。

输入LYTSWITCH-7变量				
器件击穿电压			725 V	此设计表格仅支持725V器件
DEVICE	自动		LYT7503D	实际的LYTSwitch-7器件
ILIMITMIN			1.06 A	最小电流限流点
ILIMITTYP			1.15 A	典型电流限流点
ILIMITMAX			1.24 A	最大电流限流点
TON			2.95 us	在VACTYP下处于固定导通区域的导通时间
FSW			103 kHz	在VACTYP下处于固定电流限流点区域的最大开关频率
DMAX			2.40	处于固定导通时间区域的可能最大占空比

图13. 设计表格中的LYTSwitch-7变量部分

电感设计参数				
LP_MIN			290 uH	绝对最小设计电感
LP_TYP			582 uH	典型电感量
LP_TOLERANCE			10 %	设计电感的公差
LP_MAX			873 uH	绝对最大设计电感

图14. 设计表格中的电感设计部分

### 第5步 – 选择续流二极管

根据下列参数选择续流二极管：

- 反向恢复时间， $t_{RR}$  – CrM工作允许使用较慢速反向恢复（最快250 ns）的输出二极管。
- 峰值反向电压， $PIV_D$  – 选择峰值反向电压(PIV)额定值，裕量至少超过峰值输入电压25%。
- 正向电流， $I_F$  – 将输出电流 $I_O$ 用作最小正向电流额定值。对于 $I_O < 300$  mA的设计，推荐使用1 A二极管。对于输出电流( $I_O$ )更大的设计，检查正向电流降额曲线以确定是否需要在给定工作温度下使用2 A二极管。

### 第6步 – 选择输出电容

市售标准电感器的值	
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. 标准鼓状磁芯电感器的值

输入电感磁芯/结构变量				
磁芯	EE13		EE13	输入变压器磁芯
自定义磁芯名称				如果使用自定义磁芯，则在此输入零件编号
AE			17.10 mm <sup>2</sup>	磁芯等效截面积
LE			30.20 mm	磁芯等效路径长度
AL			1130.00 nH/turn <sup>2</sup>	无气隙磁芯等效电感量
AW			21.28 mm <sup>2</sup>	骨架窗口面积
BW			7.40 mm	骨架绕组宽度
LAYERS			6.0	层数

图15. 设计表格中的电感磁芯/结构变量部分

LYTSwitch-7 IC可以在不使用输出电容的情况下以高纹波电流进行工作。不过，限制纹波电流有时对于提高LED可靠性和防止在调光过程中发生闪烁来说是必要的。

纹波电流与输出电容和LED体电阻呈函数关系。因此，需要调整实际LED负载上的输出电容大小，以确定达到给定纹波电流规格所需的最小值。

推荐采用电压额定值高于输出过压保护水平的电解电容。

### 第7步 – 选择假负载电阻

假负载电阻可用于防止输出电容电压在开路负载时出现爬升。最小推荐值通过下面的公式计算得出：

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

### 第8步 – 选择旁路电容

旁路引脚电容的值应足够大，以防止旁路引脚电压降到 $V_{BP}$ 复位以下，特别是在瞬时峰值电压低于 $V_o$ 时。对于大部分设计，推荐使用电压额定值高于7 V的10  $\mu$ F电容。

### 第9步 – 确定反馈电阻

使用下面的公式计算反馈检测电阻 $R_{FB}$ :

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

其中:

$R_{FB}$ : 反馈检测电阻

$V_{FB(REF)}$ : 反馈引脚参考电压(-279 mV)

$I_O$ : 输出电流

有必要调整 $R_{FB}$ , 使 $I_O$ 在额定输入电压下对中。

### 第10步 – 确定多功能引脚元件

#### $R_{UPPER}$ 的选择

使用下表选择默认的 $R_{UPPER}$ 值:

输入电压范围	推荐电阻 $R_{UPPER}$
仅低输入电压	402 k $\Omega$ , 1%, 0805
仅高输入电压/宽范围	402 k $\Omega$ , 1%, 1206

表5.  $R_{UPPER}$ 推荐值

#### $R_{LOWER}$ 的选择

$R_{UPPER}$ 和 $R_{LOWER}$ 形成一个可设置输出OVP保护阈值 $VO_{OVP}$ 的分压器网络。

在低端配置中, 输出电压通过使用耦合电容进行检测。这种方法可省去基于变压器的带辅助绕组的降压电感。在低端配置中选择 $R_{LOWER}$ 时需要特别注意, 以防止在正常工作期间误触发输出过压保护。

峰值多功能引脚电压受电感、 $V_O$ 和输入电压的影响。使用下面的公式计算低端配置中相应的 $R_{LOWER}$ :

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

其中:

$V_{MREF}$ : 多功能引脚参考电压如表6所示。

$F_{SW}$ (kHz)	$V_{MREF}$ (低端配置) . V		
	高输入电压	$V_O \geq 70$ V	低输入电压/宽范围
>70	1.9	1.9	1.9
60-70	1.85	1.85	1.85
50-60	1.8	1.8	1.8
40-50	1.7	1.8	1.8
30-40	1.6	1.7	1.7
20-30	1.5	1.6	1.6

表6. 低端配置中的参考多功能引脚电压( $V_{MREF}$ )

#### 耦合电容的选择

耦合电容仅适用于低端配置。可使用容值为100 pF的COG或NPO耐压1 kV陶瓷电容。

LYTSWITCH外围元件			
<b>FB引脚电阻</b>			
RFB_T		0.486 Ohms	反馈引脚检测电阻的理论计算值
RFB		0.487 Ohms	反馈引脚检测电阻的1%值
<b>M引脚元件</b>			
RUPPER		402.00 kOhms	M引脚分压器网络的上电阻(E96 / 1%)
RLOWER		15.80 kOhms	M引脚分压器网络的下电阻(E96 / 1%)
VO_OVP		62.8 V	VO过压阈值
Line_OVP		452 V	输入过压阈值
CC		100 pF	用于低端降压配置的耦合电容
RPRELOAD		50 kOhms	最小输出假负载电阻
CBP		10 uF	BP电容
RBP		140 kOhms	直流总线和BP引脚之间的推荐上拉电阻值

图16. 设计表格中的外围元件部分

## 第11步 – 选择调光元件

要进行优化的主要调光元件在图17中突出显示。

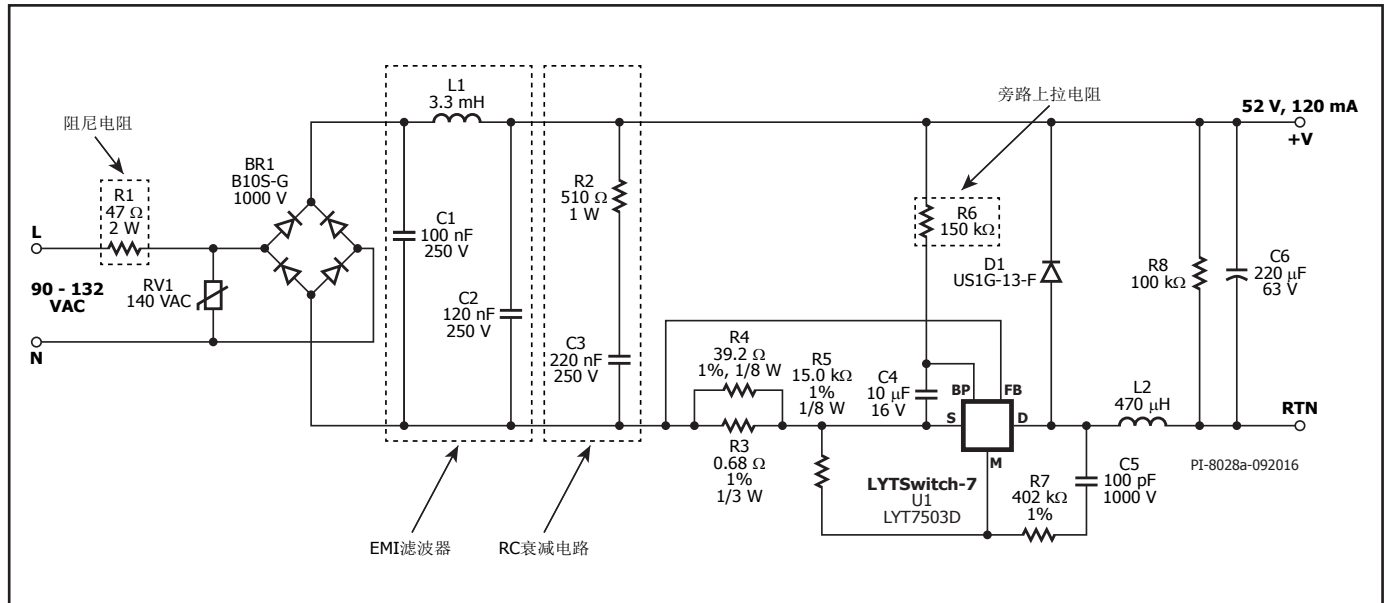


图17. DER-539: 采用LYT7503D及低端降压配置的低输入电压6.24 W (52 V/120 mA)可调光非隔离A19 LED驱动器

## 阻尼电阻

阻尼电阻用作调光衰减器和安全保护保险丝（必须使用符合安规要求的可熔断型电阻）。其值取决于调光器的类型、输入电压、输出功率和效率要求。

由于使用的元件不同，不同的调光器表现也有所不同。具有较高锁存和维持电流要求的可控硅调光器通常更具挑战性，因为它们适用于大功率负载。针对高输入电压应用的设计也更具挑战性，因为在输出功率给定的情况下其输入电流小于低输入电压应用的输入电流。图19至22显示了不同的电阻值如何影响输入电流。理想情况下，波形应如图22所示。但在有些情况下，电阻值受到效率要求的限制。对于给定输出功率和输入电压的阻尼电阻推荐值如图18所示。此外，表7还提供了不同LYTSwitch-7设计范例报告(DER)所使用的实际调光元件。

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

表7. LYTSwitch-7 DER中的调光元件值

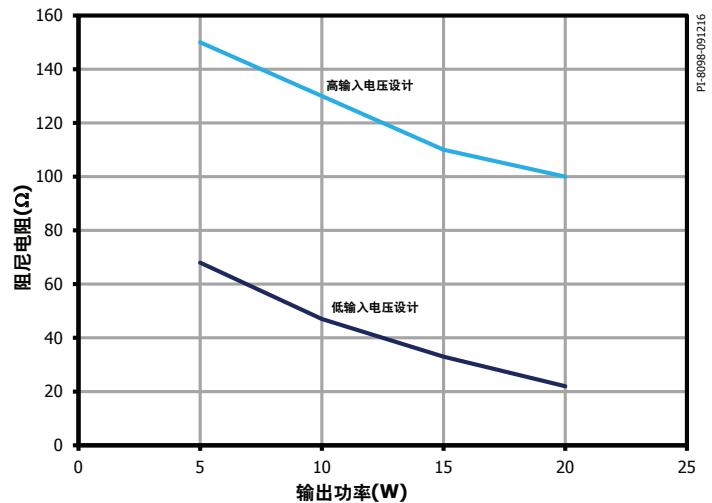


图18. 阻尼电阻推荐值

图19至22显示了不同阻尼电阻(R1)值在90°C导通角下对DER-539的输入电流的影响。随着电阻值的增大，衰减效果也相应增大，因此振铃被抑制。



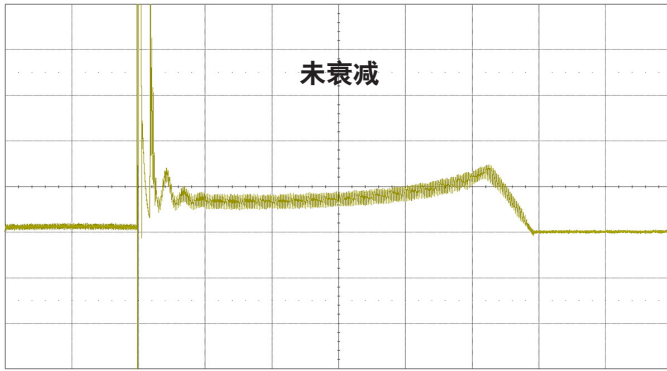


图19. 无阻尼电阻时的输入电流

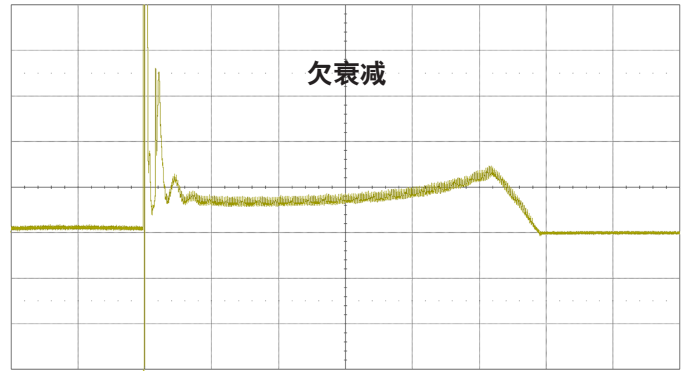


图20. 采用10 Ω阻尼电阻时的输入电流

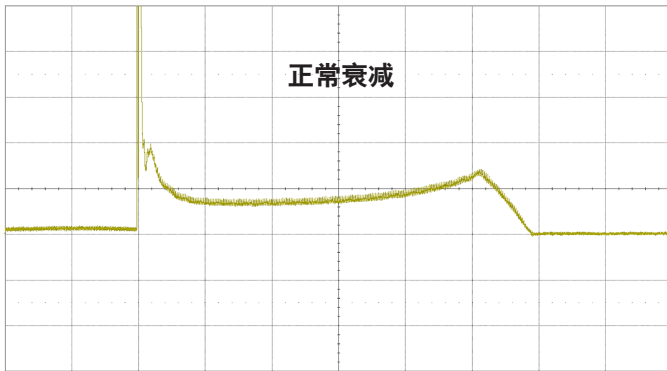


图21. 采用22 Ω阻尼电阻时的输入电流

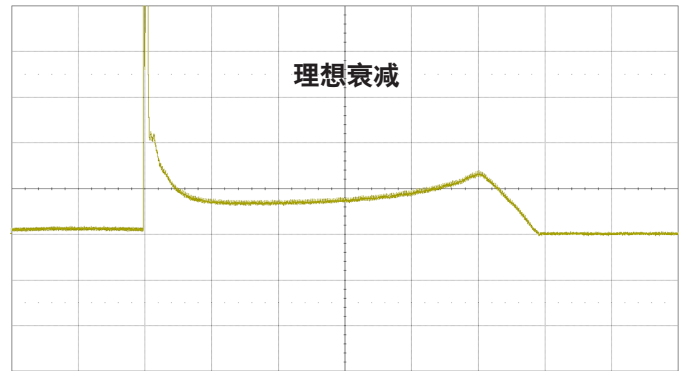


图22. 采用47 Ω阻尼电阻时的输入电流

### 雷击保护

MOV充当电压箝位，可限制由桥式整流管(BR1)和控制器(U1)内部MOSFET之间的雷击和电压骤升所产生的电压应力。

### EMI滤波器

推荐的EMI滤波器使用低成本的 $\pi$ 型配置。滤波器设计对于电路的整体性能也非常关键，因为它直接影响功率因数和调光性能。

第一个电容(C1)对输入电流的影响如图23所示。该电容产生一个较高的输入电流尖峰，不过虽然这有益于可控硅锁存电流，但所产生的振铃可能会低于维持电流，并且可能造成闪烁，特别是在电容较低时。

对于5 W以下的输入功率，可能在仅使用一个LC滤波器时满足EMI要求。然而，在大部分情况下，需要使用第一个电容，推荐采用介于47 nF至100 nF的值。

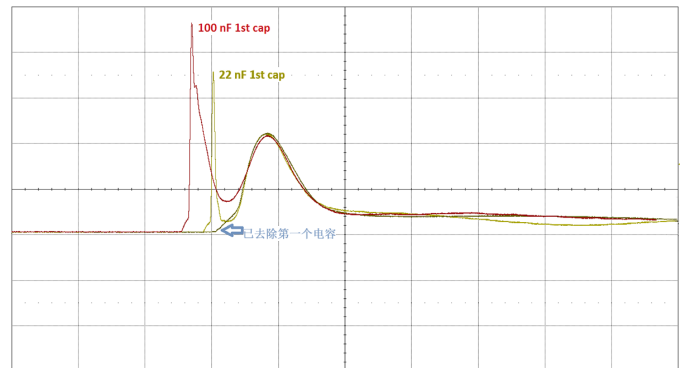


图23. 第一个滤波电容对输入电流的影响

对于第二个输入滤波电容C2，推荐采用介于100 nF和220 nF之间的值。较大的值有助于抑制可控硅输入电流，并且可能会增强兼容性。然而，如果在230 V下PF > 0.9，使用25 nF/W快速选择要求的电容。对于低输入电压设计，即使在输入电容较高时仍可实现高功率因数。

滤波电感的值介于1 mH和4.7 mH之间。通过尽量增大输入电容值使用尽可能最小的电感。为该电感选取合适的电流额定值，它可能会产生音频噪声，特别在可控硅导通时产生的浪涌电流导致饱和时，会进行调光。

### 选择RC衰减电路

当调光器中的可控硅导通时，RC衰减电路在衰减EMI滤波器谐振造成的振铃方面起着非常重要的作用。它可以防止输入电流在低于可控硅维持电流( $I_{HOLD}$ )时产生振铃。图24所示为RC衰减电路对调光时输入电流波形的影响。

对大多数设计来说，R和C的等效典型值分别为510  $\Omega$ 和220 nF。参见表7，了解不同LYTSwitch-7 DER所使用的实际RC衰减电路值。优化调光器兼容性时，可使用这些值作为起点。

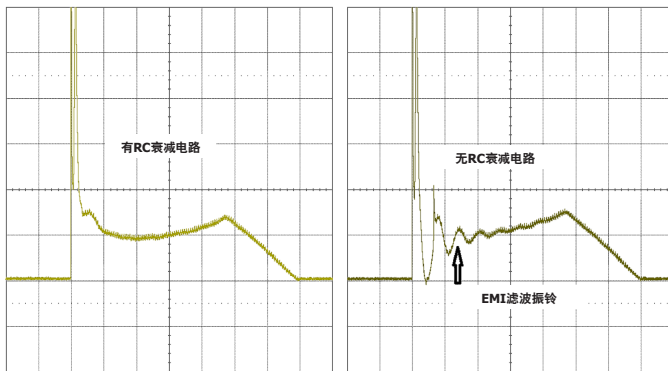


图24. 显示RC衰减电路对输入电流振铃的影响

### RC衰减电路放置

RC衰减电路(R2和C3)通常放置在 $\pi$ 型滤波器后面(图17)。这种设置可为大部分前沿调光器提供很好的调光比(>10:1)。不过，这取决于具体可控硅调光器型号或品牌的最大导通角，如果导通角较小(如<150°C)，则此类调光器的最大输出电流相对于无调光器连接时会更小。为了增大电流，将RC衰减电路放置在整流桥前面可增大导通角，但会减小调光范围。图25所示为在使用典型可控硅调光器中的DER-539中，RC的位置与输出电流的变化关系以及对调光性能的影响。

### 确定旁路上拉电阻

调光过程中，导通角越小，漏极电压就越低，在达到来自漏极的内部供电不再为控制器旁路供电的点的非开关时间(死区)也就越长。必须使旁路电压在此期间保持在4.5 V以上，否则IC将复位并停止开关。

如图17所示，在整流直流总线和旁路引脚之间添加一个上拉电阻( $R_{BP}$ )或R6，确保IC在较小的导通角下能正常工作。推荐电阻值可通过公式6计算得出。这样可确保旁路电压即使在深度调光时仍始终在4.5 V以上。

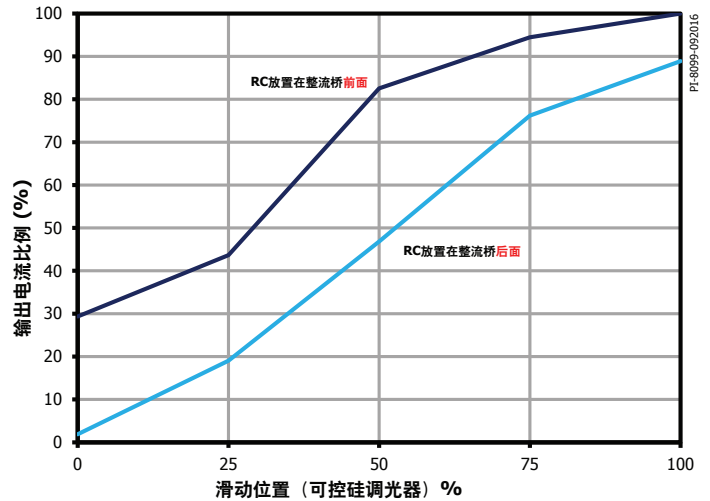


图25. RC衰减电路的位置对调光曲线的影响

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

必须针对高输入电压工作适当调整电阻的功率额定值，因为功耗在最大输入电压下可能会非常高。将公式6的计算值用作基准值，必要时调整电阻以降低功耗，同时使旁路电压在深度调光时保持在4.5 V以上。

### 设计方法总结

1. 使用PIXIs设计磁芯并选择要求的元件。
2. 优化EMI – 输入电容越高，兼容性就越高，因此在了解EMI要求的最小电容后，就能确保在优化调光器的兼容性之后满足EMI要求。
3. 优化兼容性
  - 选择阻尼电阻
  - 选择RC衰减电路
  - 确定 $R_{BP}$

### 保护特性

#### SOA保护

在上电、输出过载和短路时，由于在续流导通期间储存在电感中的能量没有充足的时间放电，输出电压较低或不存在的可导致非常连续的导通模式(CCM)工作，并且MOSFET电流会累积并超过其安全工作区(SOA)限值，从而造成损坏。在降压拓扑中，这方面表现的比任何其他拓扑结构更为严重。LYTSwitch-7 IC具有可避免这种情况发生的保护特性，当峰值电流在500 ns内达到工作电流限值时，会检测到SOA故障。检测到后，在下一开关周期使能之前，当检测到SOA脉冲并将电感电流复位到零时，会跳过八个开关脉冲( $F_{MIN}$ 周期)。

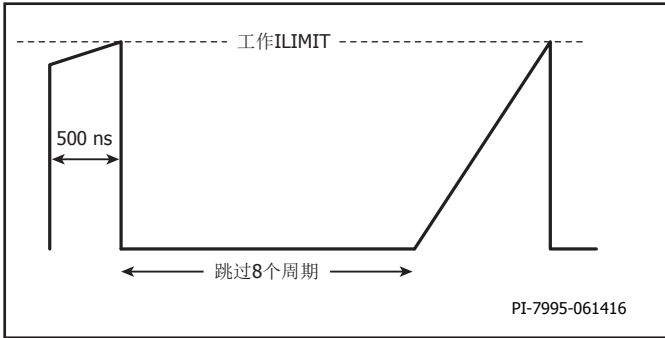


图26. SOA跳周期时序

### 输出短路保护

在发生输出短路的情况下，当触发SOA事件时会使能脉冲跳跃模式。如果输出短路持续超过2个SOA事件，会在开始下一开关之前使能100 ms的自动重新启动延迟。如果SOA故障在尝试两次100 ms自动重新启动后仍然存在，延迟会增加大1 s。

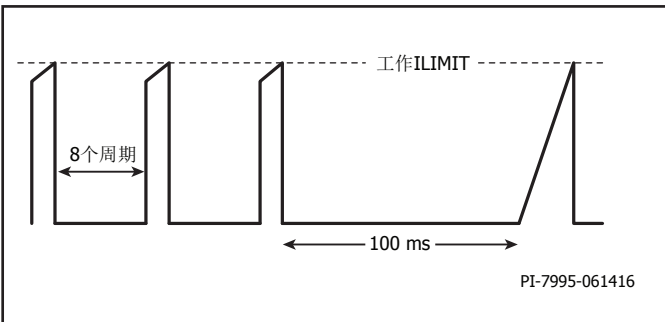


图27. 三个连续SOA事件的时序

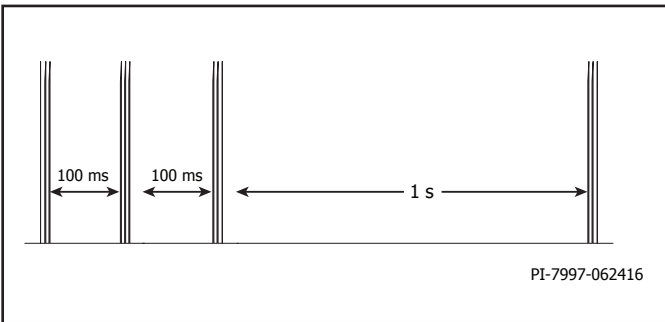


图28. 1秒自动重新启动

在有些情况下，电源不会检测到3个连续SOA事件。次级保护通过多功能引脚欠压实现。

### 多功能引脚欠压保护

如果多功能引脚电压持续500 ms低于1 V，器件将触发1s自动重新启动。这种情况会在输出短路时发生。图29 – 多功能引脚欠压自动重新启动时序

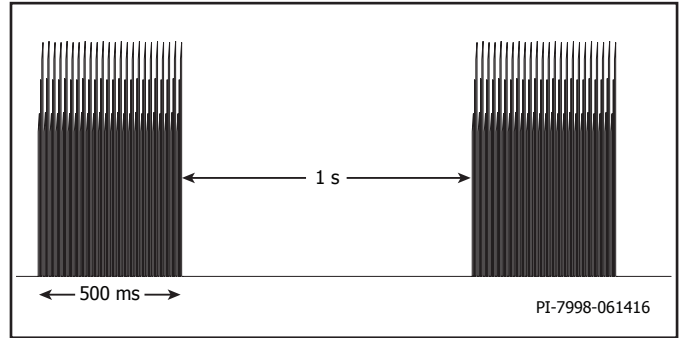


图29. 多功能引脚欠压自动重新启动时序

### 输入过压保护

MOSFET导通后，多功能引脚实际上到源极短路，如果流经 $R_{UPPER}$ 的电流超过1 mA，则触发输入过压保护。触发故障后开关立即停止，器件进入自动重新启动状态。

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

### 输出过压保护

续流二极管导通时，如果多功能引脚上的电压超过 $V_{OOV}$  (2.4 V)且持续500  $\mu\text{s}$ ，将触发输出过压保护，电源将进入自动重新启动状态。

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

### 过流保护

达到内部电流限流点时，例如 $R_{FB}$ 短路时，电源进入自动重新启动状态。

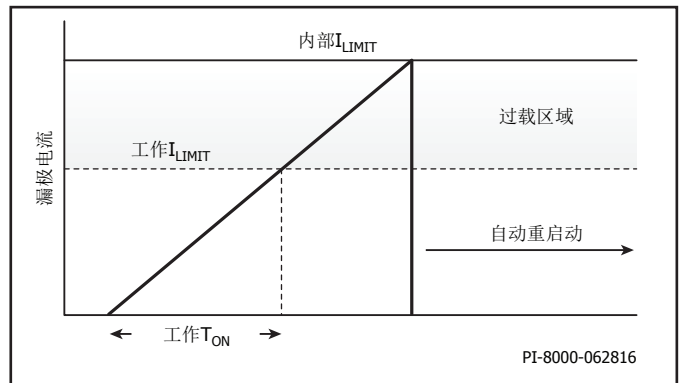


图30. 过流保护

### 热折返及过热保护

当结温度超过145  $^{\circ}\text{C}$ 时，热折返开始生效。输出电流线性下降约-2.5%/  $^{\circ}\text{C}$ ，直到过热关断在160  $^{\circ}\text{C}$ 下触发。当温度降到85  $^{\circ}\text{C}$ 时，器件自动恢复正常工作。

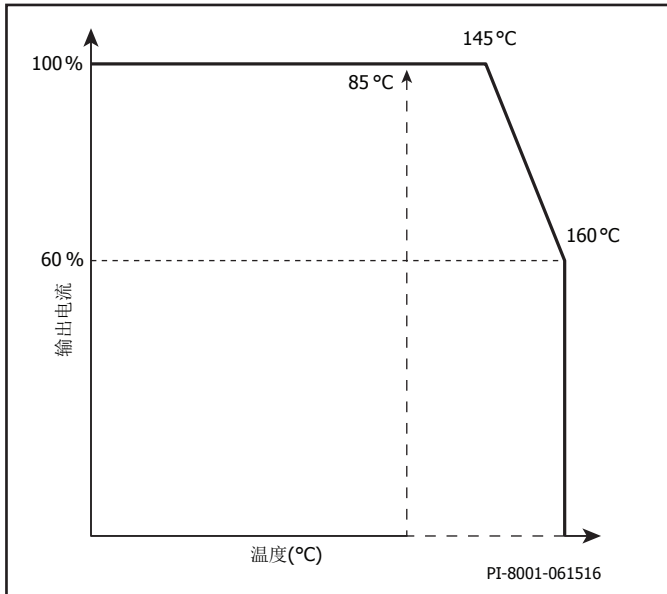


图31. 热折返及过热保护

### 有关LED兼容调光器的补充说明

由于白炽灯已逐步被淘汰，商店销售的许多新调光器现在都兼容LED产品，因此新的产品声称自己能够兼容这些最新的调光器，也是情理之中的事情。

一些切相调光器适用于可调光LED灯泡。在调光器名牌上查找是否有“LED”字样，通常可以确定这一信息。对于这些调光器，可以去除RC衰减电路，但仍可兼容。

表8中的精选调光器已经过验证，可以在DER-539中正常工作（并且不采用RC衰减电路）。

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

表8. 低输入电压调光器兼容采用LYTSwitch-7的LED驱动器的示例

假设一些调光器兼容LED驱动器，用户可以选择在不同的输入配置中试验，确定哪一个最适合要采用的调光器。

表9汇总了图32至35中所示的四个电路配置的一般观测结果。

性能指标	配置 1	配置 2	配置 3	配置 4
兼容性	高	中	低	中
效率	中	中	高	低
BOM成本	高	高	低	中
调光比	高	中	高	高
调光器在最大导通角下的输出电流下降	中	低	低	低

表9. LYTSwitch-7不同输入电路配置的相对性能比较

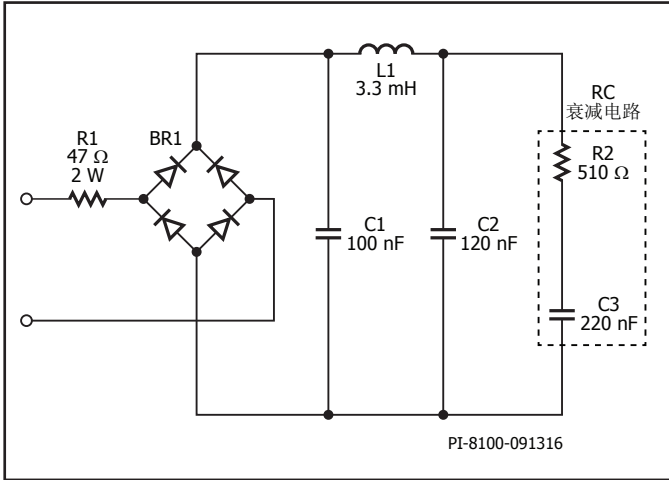


图32. 配置1 - 以DER-539为参考

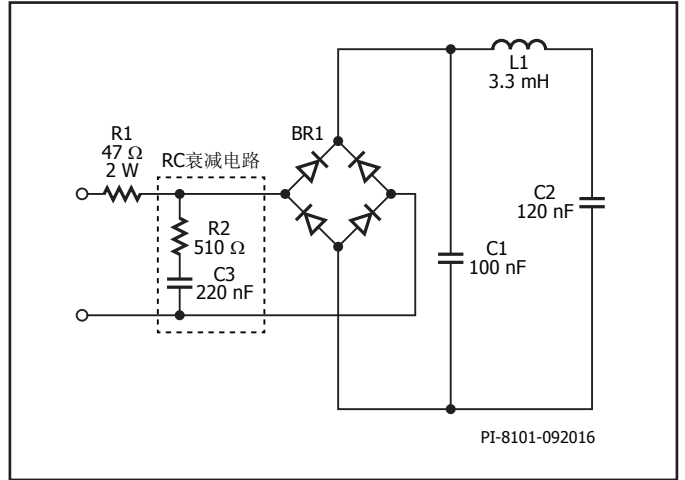


图33. 配置2 - RC衰减电路放置在整流桥前面

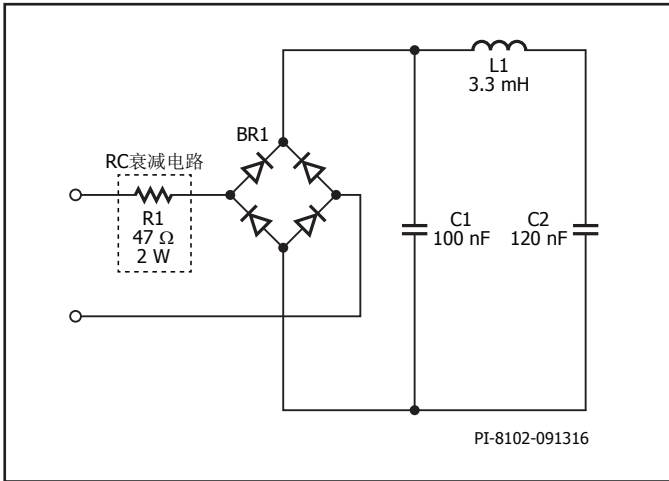


图34. 配置3 - 无RC衰减电路

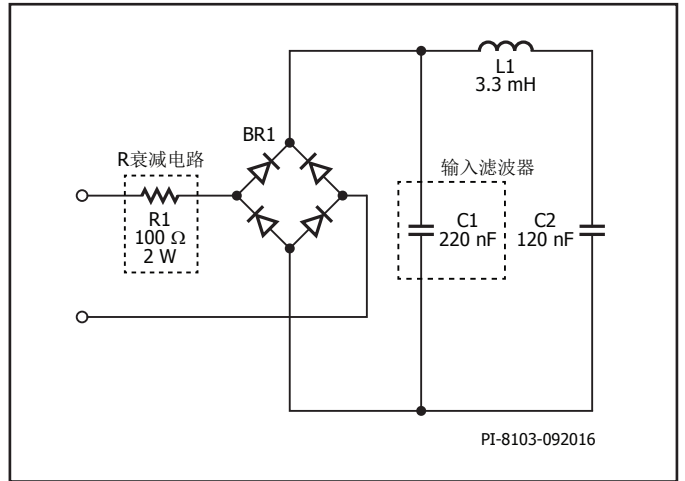


图35. 无RC衰减电路, 阻值更高的R衰减电路和第一个电容的值

## PCB布局要点

如图36所示，EMI滤波元件应集中在一起放置，以提升滤波器的效果。将EMI滤波元件C1及L1的位置应尽可能远离电路板上的任何开关节点（特别是U1漏极节点）、输出二极管(D1)和电感(T1)。

在放置关键的IC元件R3、R4、R5、R9、R10、C5和C4时应小心谨慎。强烈推荐将这些元件放置在非常靠近控制器U1引脚的位置，这样才能保证走线最短（较长的走线，类似于天线，会拾取噪声），但尽可能远离电路板中的任何高压和/或大电流节点，以避免噪声耦合（可能会影响系统工作）。

为了实现有效的噪声去耦，旁路供电电容C4应直接跨接于U1的旁路引脚和源极引脚之间。

减小以下开关电路元件所构成的环路面积（如图8所示）可减少EMI的产生。

- 由电感绕组(T1)、续流整流二极管(D1)和输出电容(C6)形成的环路面积。
- 由输入电容(C2)、控制器内部MOSFET (U1)、续流整流二极管(D1)和检测电阻(R4、R5)形成的环路面积。

LYTSwitch-7 IC采用低端配置时，其与接地端相连的源极引脚用于散热。这样，设计师可将源极的铺铜面积最大化，进行良好的散热，但不会产生过高的EMI。

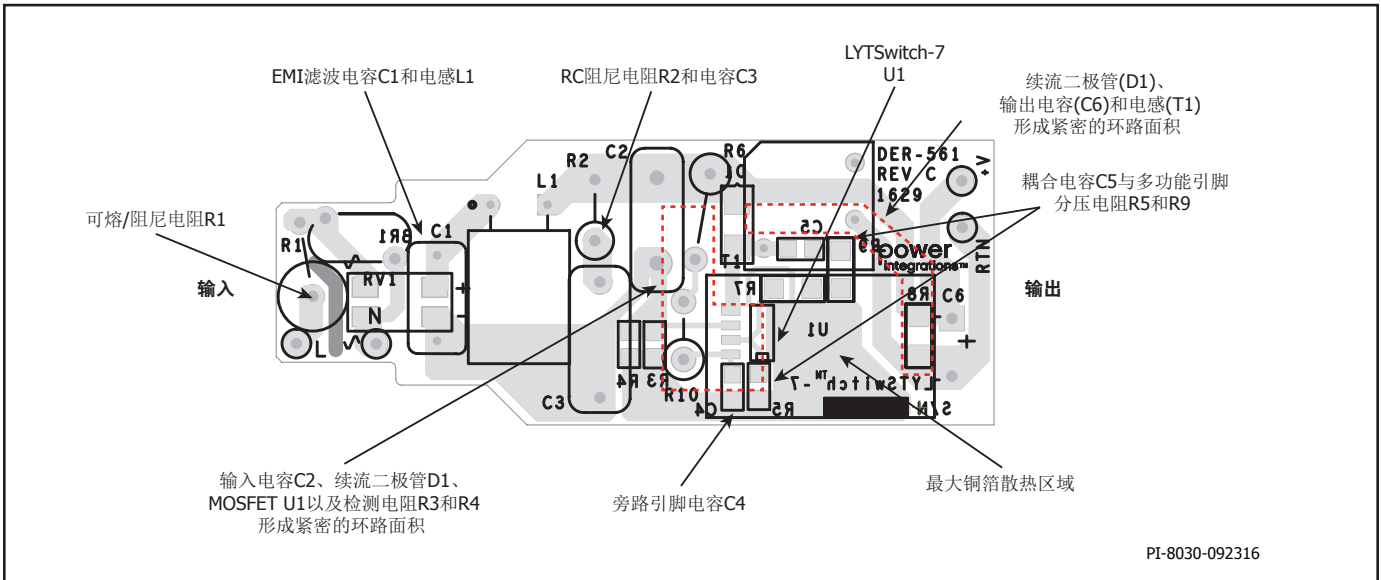


图36. 设计范例DER-561的PCB布局 — 关键环路面积, 采用LYTSwitch-7及降压配置

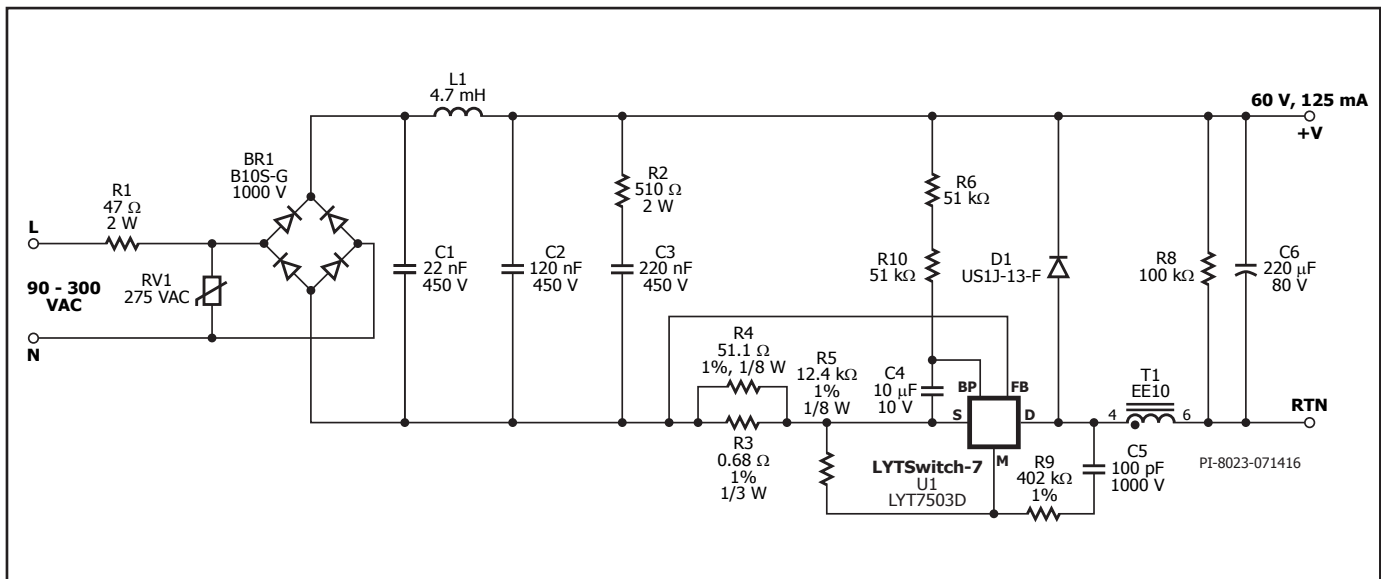


图37. 设计范例DER-561的电路原理图

## 快速设计校验

### 最大漏极电压

确认峰值漏极电压应力(VDS)在包括启机和故障情况的所有工作条件下都不超过725 V。

### 最大漏极电流

测量所有工作条件（包括启机和故障条件）下的峰值漏极电流。查找电感饱和（通常在最高工作环境温度下出现）。确认峰值电流小于数据手册中规定的绝对最大额定值。

## 温升检查

在最大输出功率、最小和最大输入电压及最高环境温度条件下，检查确认并未超过元件温度限值。

## 设计工具

有关设计工具的最新信息，请浏览Power Integrations的网站：[www.power.com](http://www.power.com)。

LYTSwitch-7 PIXIs设计表格可以通过PI Expert在线访问：<https://piexpertonline.power.com/site/login>。

修订版本	注释	日期
A	初始版本。	09/16

## 有关最新产品信息，请访问：[www.power.com](http://www.power.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.power.com](http://www.power.com). Power Integrations grants its customers a license under certain patent rights as set forth at <http://www.power.com/ip.htm>.

## Life Support Policy

POWER INTEGRATIONS PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF POWER INTEGRATIONS. As used herein:

1. A Life support device or system is one which, (i) is intended for surgical implant into the body, or (ii) supports or sustains life, and (iii) whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use, can be reasonably expected to result in significant injury or death to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

The PI logo, 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 and PI FACTS are trademarks of Power Integrations, Inc. Other trademarks are property of their respective companies. ©2016, Power Integrations, Inc.

## Power Integrations全球销售支持网络

### 全球总部

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@power.com](mailto:usasales@power.com)

### 中国 (上海)

Rm 2410, Charity Plaza, No. 88  
North Caoxi Road  
Shanghai, PRC 200030  
Phone: +86-21-6354-6323  
Fax: +86-21-6354-6325  
e-mail: [chinasales@power.com](mailto:chinasales@power.com)

### 中国 (深圳)

17/F, Hivac Building, No. 2, Keji Nan  
8th Road, Nanshan District,  
Shenzhen, China, 518057  
Phone: +86-755-8672-8689  
Fax: +86-755-8672-8690  
e-mail: [chinasales@power.com](mailto:chinasales@power.com)

### 德国

Lindwurmstrasse 114  
80337 Munich  
Germany  
Phone: +49-895-527-39110  
Fax: +49-895-527-39200  
e-mail: [eurosales@power.com](mailto:eurosales@power.com)

### 德国

HellwegForum 1  
59469 Ense  
Germany  
Tel: +49-2938-64-39990  
e-mail: [igbt-driver.sales@power.com](mailto:igbt-driver.sales@power.com)

### 印度

#1, 14th Main Road  
Vasanthanagar  
Bangalore-560052 India  
Phone: +91-80-4113-8020  
Fax: +91-80-4113-8023  
e-mail: [indiasales@power.com](mailto:indiasales@power.com)

### 意大利

Via Milanese 20, 3rd. Fl.  
20099 Sesto San Giovanni (MI) Italy  
Phone: +39-024-550-8701  
Fax: +39-028-928-6009  
e-mail: [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  
Phone: +81-45-471-1021  
Fax: +81-45-471-3717  
e-mail: [japansales@power.com](mailto:japansales@power.com)

### 韩国

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@power.com](mailto:koreasales@power.com)

### 新加坡

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

### 台湾

5F, No. 318, Nei Hu Rd., Sec. 1  
Nei Hu Dist.  
Taipei 11493, Taiwan R.O.C.  
Phone: +886-2-2659-4570  
Fax: +886-2-2659-4550  
e-mail: [taiwansales@power.com](mailto:taiwansales@power.com)

### 英国

Cambridge Semiconductor,  
a Power Integrations company  
Westbrook Centre, Block 5, 2nd Floor  
Milton Road  
Cambridge CB4 1YG  
Phone: +44 (0) 1223-446483  
e-mail: [eurosales@power.com](mailto:eurosales@power.com)