

LED 大功率 DC-DC 全陶瓷电容 boost 逆变驱动方案

本参考设计采用 MAX16834 构建 112.5W boost LED 驱动器，用于驱动长串 LED。这些长串 LED 被广泛用于路灯和停车场照明。

输入电压：24VDC $\pm 5\%$ (1.49A)

VLED 配置：两串并联，每串由 19 只 WLED 组成，5 Ω 电阻用于电流平衡。每串电流为 750mA，在 75V 驱动下提供 1.5A 的电流。

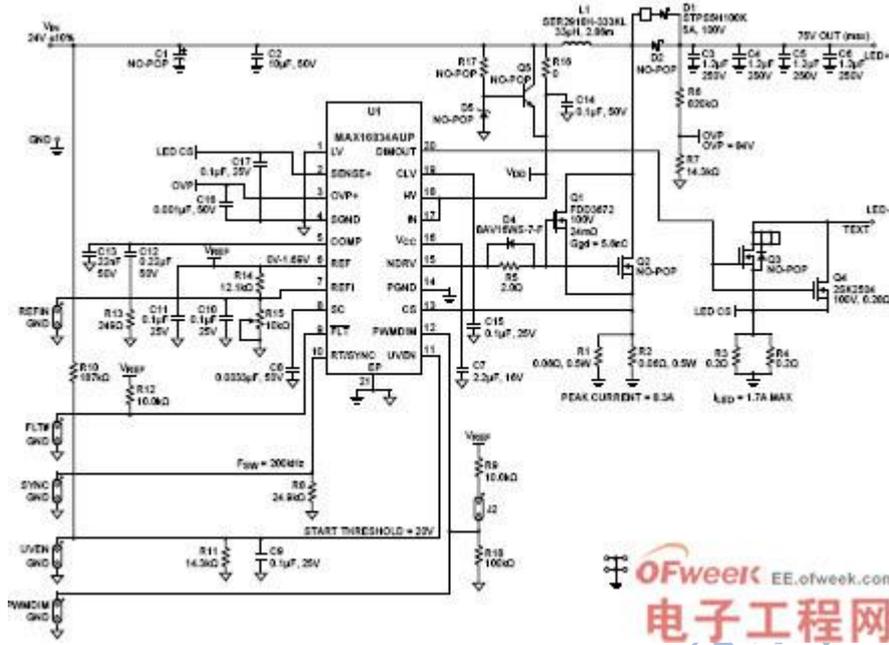
调光：50 μ s (最小值) 导通脉冲，200:1 最高调光比，100Hz 调光频率。

注：本设计已经过验证。但并未进行详细测试，有些细节问题尚需进一步测试。



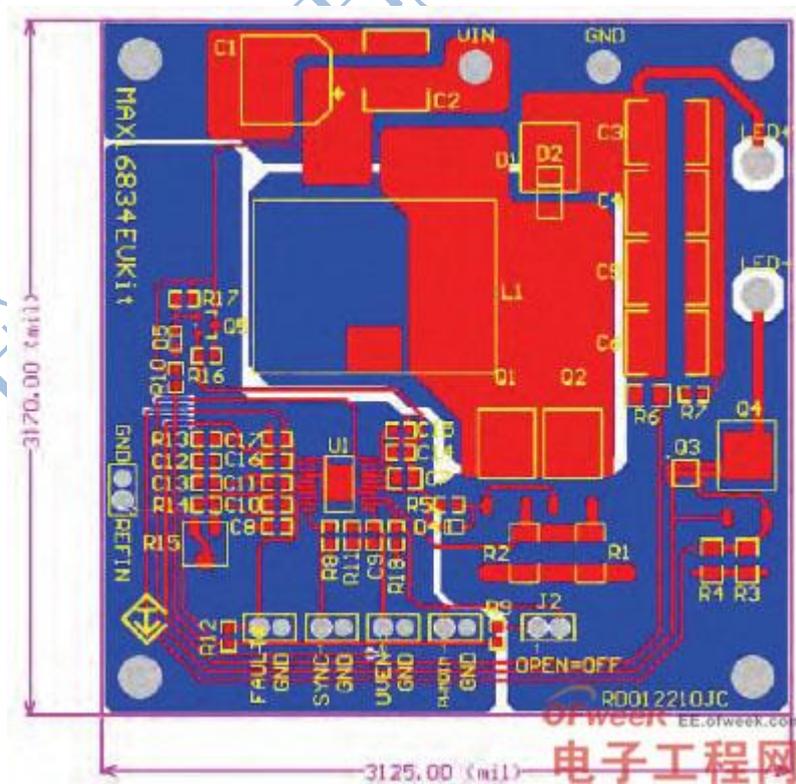
[清晰图片\(PDF, 7.6MB\)](#)

图 1. LED 驱动器电路板



[清晰图片 \(PDF, 290kB\)](#)

图 2. LED 驱动器原理图



[清晰图片 \(PDF, 913kB\)](#)

图 3. LED 驱动器布局

Component list						
Source Data From:			RD#12219JC.Prj/PCB			
Project:			MAX16834 EVKIT. 2 Layer, 24VIN, VLED=75V, ILED=1.5A			
Variant:			None			
#	Designator	LibRef	Comment	Footprint	Quantity	Notes
1	C1	CAPACTOR - POLARIZED	No pap	CAPACTOR - PANASONIC G	1	
2	C2	CAPACTOR - NONPOLARIZED	10uF 50V X7R	2225	1	
3	C3, C4, C5, C6	CAPACTOR - NONPOLARIZED	1.2uF 250V X7R	2225	4	
4	C7	CAPACTOR - NONPOLARIZED	2.2uF 16V X7R	0905	1	
5	C8	CAPACTOR - NONPOLARIZED	0.0033uF 50V X7R	0903	1	
6	C9, C10, C11, C15, C17	CAPACTOR - NONPOLARIZED	0.1uF 25V X7R	0903	5	
7	C12	CAPACTOR - NONPOLARIZED	0.15uF 50V X7R	0903	1	
8	C13	CAPACTOR - NONPOLARIZED	22nF 50V X7R	0903	1	
9	C14	CAPACTOR - NONPOLARIZED	0.1uF 50V X7R	0903	1	
10	C16	CAPACTOR - NONPOLARIZED	0.001uF 50V X7R	0903	1	
11	D1	DIODE - SCHOTTKY D-PAK	STP65H100K	TD-252 D-PAK	1	
12	D2	DIODE - SCHOTTKY	No pap	SMA	1	
13	D4	DIODE	B4AV18V5-T-F	SOD323	1	
14	D5	DIODE - ZENER	No-pap	SOD-523	1	
15	FL# J2, PW/MDBA, SYNC, UVEN, REFIN	CONNECTOR - 2X1	CONNECTOR - 2X	HEADER - 100ML 1X2	5	
16	GND, LED+, LED-, VIN	TERMINATION 1 VIA	61137-1	PHOLE - 1.77MM	4	
17	L1	INDUCTOR	BER2918H-333KL	INDUCTOR - COILCRAFT BER2900	1	
18	Q1	MOSFET - N CHANNEL	FDD9672	TD-252 D-PAK	1	
19	Q2	MOSFET - N CHANNEL	No-pap	TD-252 D-PAK	1	
20	Q3	MOSFET - N TSSOP-6	No-pap	SOT23-6	1	
21	Q4	MOSFET - N CHANNEL	25K2504	TD-252 D-PAK	1	
22	Q5	TRANSISTOR - NPN	No-pap	SOT23-3	1	
23	R1, R2	RESISTOR	0.061 5W	2010	2	
24	R3, R4	RESISTOR	0.20 0.25W	1206	2	
25	R5	RESISTOR	2 0	0903	1	
26	R6	RESISTOR	500K	1206	1	
27	R7, R11	RESISTOR	14.3K	0903	2	
28	R8	RESISTOR	24.9K	0903	1	
29	R9, R12	RESISTOR	10 0R	0903	2	
30	R10	RESISTOR	107K	0903	1	
31	R13	RESISTOR	332	0903	1	
32	R14	RESISTOR	12.1K	0903	1	
33	R15	RESISTOR - ADJUSTABLE	10K	POTENTIOMETER - BOURNS 3314J	1	
34	R16	RESISTOR	0	0903	1	
35	R17	RESISTOR	No-pap	0903	1	
36	R18	RESISTOR	100K	0903	1	
37	U1	MAX16834AUP	MAX16834AUP	TSSOP20-EP	1	

[清晰图片\(PDF, 1.7MB\)](#)

图 4. 材料清单

Basic Boost Converter Design

Spreadsheet is protected but can be changed to unprotected (no password)

Maxim Integrated Products

Legend:					Output Values In Yellow -- Read Only					
Input Values In Blue -- Adjust to match the circuit										
Inputs	Symbol	MIN	TYP	MAX	UNITS	Outputs	Symbol	MIN	MAX	UNITS
Input Voltage	V_{IN}	21.60		26.40	V					
Assumed Efficiency (except diode)	η		0.94							
Output LED Voltage	V_{LED}		75.00		V					
Output Current	I_O			1.500	A					
Inductor Ripple Current Ratio	LIR			0.450						
Output Diode Voltage Drop	V_D	0.30		0.70	V					
Switching Frequency	f_{SW}		200.00		KHz					
Acceptable Output Voltage Ripple	$V_{ORIPPLE}$			1.00	V					
Current Sense Resistor	R_{CS}		0.003		Ω					
						Duty Cycle	DC	0.649	0.732	
						On Time	T_{ON}	3.247	3.658	μsec
						Off Time	T_{OFF}	1.342	1.753	μsec
						Minimum value of inductance	L_{MIN}	31.4		μH
Inductance Value Chosen	L	26.4	33	39.6	μH	L average current	I_{Lavg}		5.589	A
Series Resistance of L	R_L		0.0029		Ω	L Pk-Pk ripple current	I_{Lpk-pk}	2.993	3.247	A
						L peak current	I_{Lpk}		7.086	A
						L valley current	I_{Lval}		4.093	A
						L RMS current	I_{Lrms}		5.656	A
						L Power Dissipation	P _L		0.091	W
						MOSFET RMS current	I_{MOSrms}		4.838	A
						MOSFET peak current	I_{MOSpk}		7.086	A
						MOSFET peak voltage	V_{MOSpk}		75.700	V
						R_{CS} peak voltage	V_{RCSpk}		0.021	V
						R_{CS} ramp voltage	$V_{RCSRamp}$		0.009	V
						Slope compensation needed	SC		0.863	
						Slope compensation voltage	V_{SC}		0.008	V
						R_{CS} pk voltage incl. slope comp.	$V_{RCSpkSC}$		6.029	mV
						Output capacitor RMS current	I_{OUTrms}		2.477	A
						Output cap value (minimum)	C_{OUT}		5.467	μF

[清晰图片 \(PDF, 1.3MB\)](#)

图 5. 设计表格提供了 MOSFET 和电感的峰值电流和 RMS 电流。

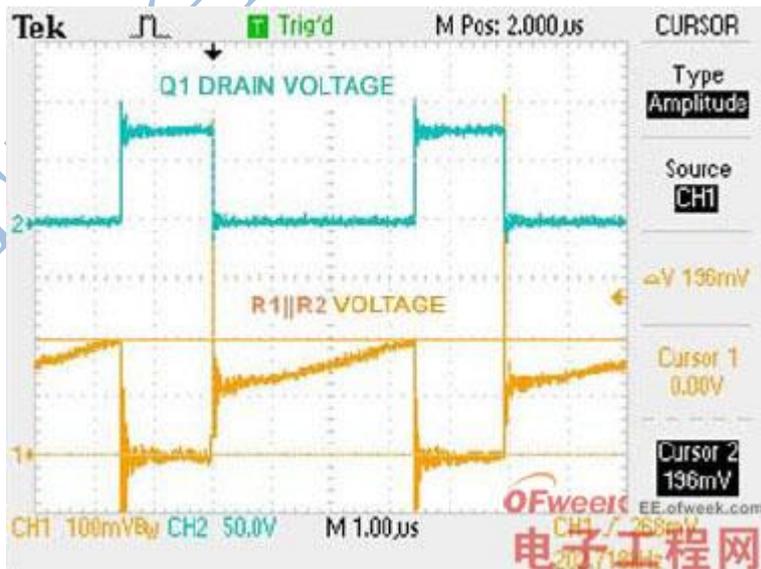


图 6. 开关 MOSFET 的电压和检流电阻的电压

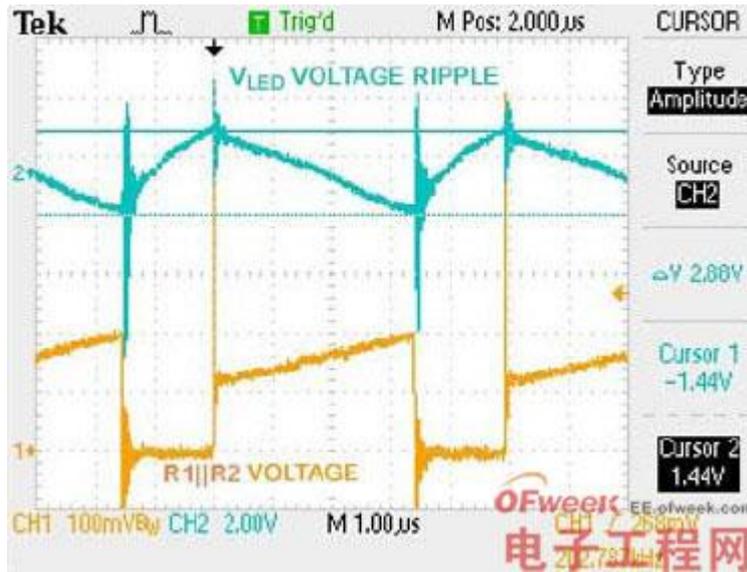


图 7. 输出电压(交流耦合)和开关 MOSFET 检流电阻的电压



图 8. 漏极电压上升时间



图 9. 漏极电压下降时间

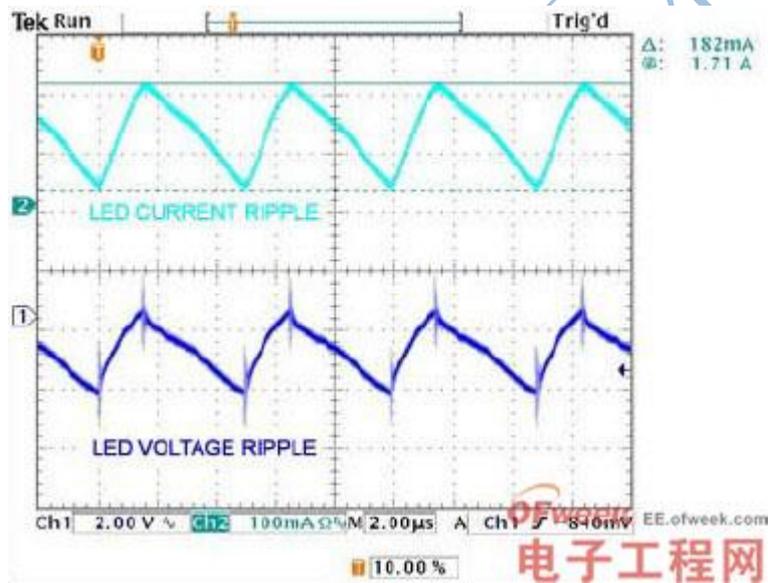


图 10. LED 电压(交流耦合)和电流纹波

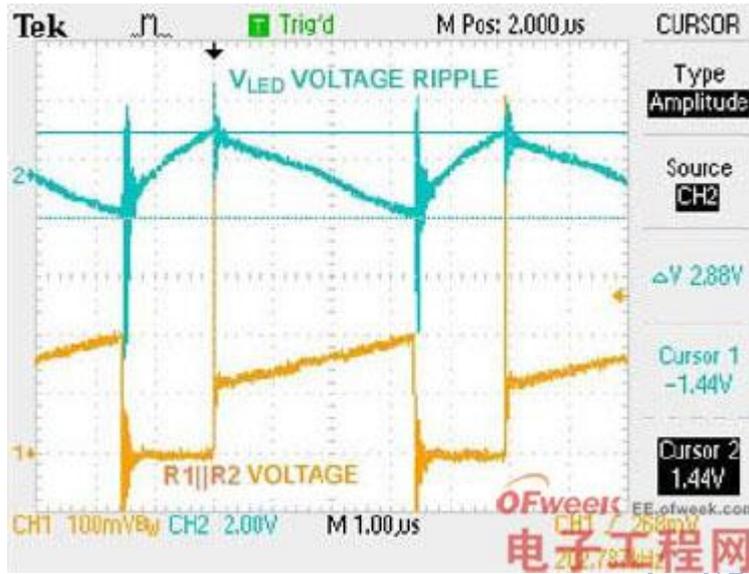


图 11. LED 电压 (交流耦合) 和 MOSFET 检流电压

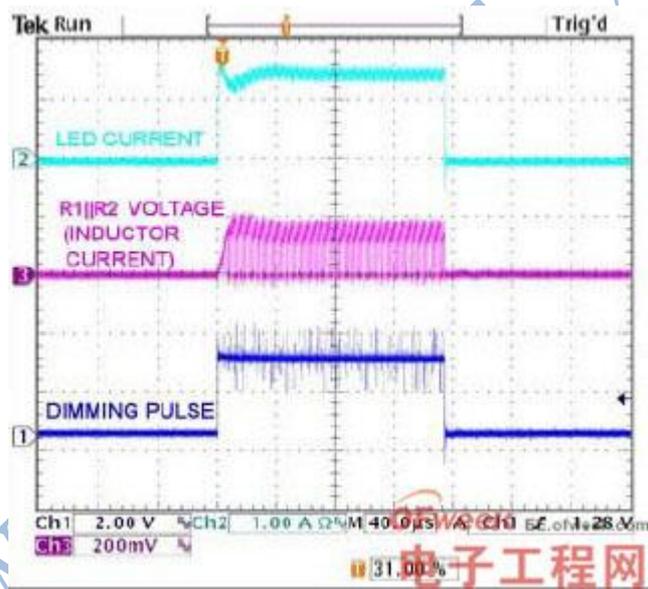


图 12. 大约 150μ s 的调光脉冲

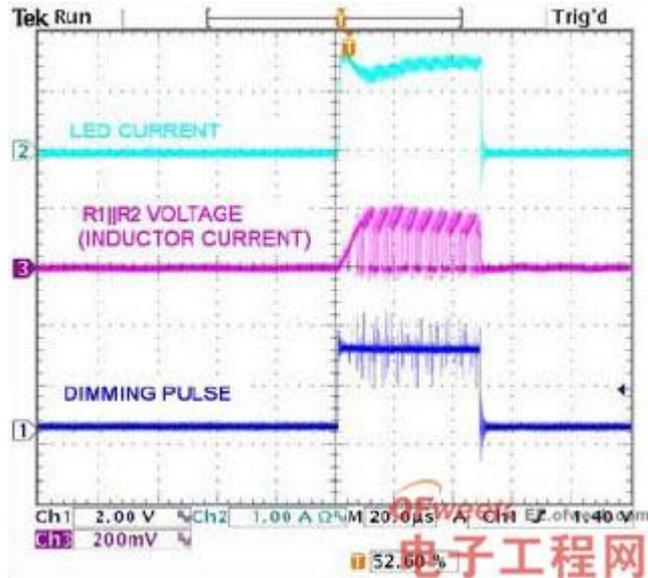


图 13. 大约 $50\mu\text{s}$ 的调光脉冲

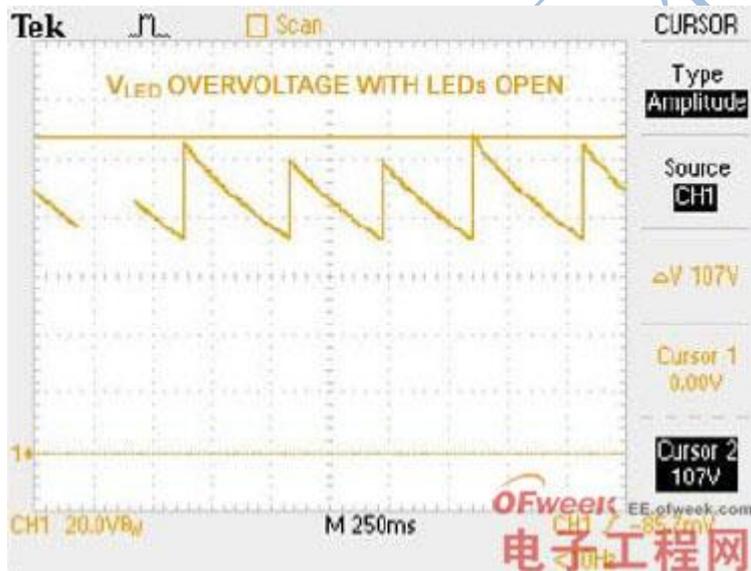


图 14. LED 串开路 OVP

Inductor Core & Winding Loss Calculator

Step 1,2,3 Enter the operating conditions (all fields required)

Frequency	IL rms max	Δ IL peak-peak
<input type="text" value="200"/> kHz	<input type="text" value="7.10"/> Amps	<input type="text" value="3.00"/> Amps
<input type="button" value="Calculate"/>		

Results (estimated)

	Inductor 1	Inductor 2	Inductor 3	Inductor 4
	SER2918H-333			
	\$1.99 each at 1,000 qty.			
Total inductor loss	<input type="text" value="313"/> mW	<input type="text"/> mW	<input type="text"/> mW	<input type="text"/> mW
Inductor core loss	<input type="text" value="197"/> mW	<input type="text"/> mW	<input type="text"/> mW	<input type="text"/> mW
DCR loss	<input type="text" value="116"/> mW	<input type="text"/> mW	<input type="text"/> mW	<input type="text"/> mW
AC winding loss	<input type="text" value="1"/> mW	<input type="text"/> mW	<input type="text"/> mW	<input type="text"/> mW
Temperature rise	<input type="text" value="7"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C	<input type="text"/> °C
	<input type="button" value="Start over"/>			

This loss calculator is intended to provide the best possible estimate of inductor losses over a range of frequencies, load currents and ripple currents. Actual performance may vary based on operating conditions and should always be verified experimentally for each application.

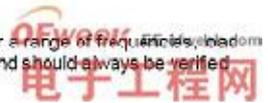


图 15. 预测电感的温升。

电路说明

概述

本参考设计用于为长串 LED 提供高压 boost 电流源，长串 LED 的应用不仅限于路灯和停车场照明。长串 LED 允许采用高性价比的 LED 驱动方案，另外，由于各个 LED 具有相同电流，可以很好地控制亮度变化。本设计采用 24V 输入，可提供高达 75V 的 LED 驱动输出，可驱动 1.5A LED 灯串(或多串并联)。测量到的输入功率为 115.49W，输出功率为 111.6W，具有 96.6%的效率。

PCB

MAX16834 boost 设计的印制电路板(PCB)采用通用的两层板(图 1 和图 3)。有些 PCB 功能要求为可选项,测试时并没有组装这些电路,原理图(图 2)中将其标注为“no-pop”。电路板在 IC 下方布设接地岛,通过单点连接至功率地,以确保低噪声特性。由于很多路灯生产厂商没有适当焊接设备焊接其它形式的封装,例如 TQFN 封装,因此本设计采用了 TSSOP 封装 IC。图 4 给出本设计的材料清单。

拓扑

设计采用工作在 200kHz 连续模式的 boost 调节器。图 5 所示表格给出了 MOSFET 和电感的 RMS 电流和峰值电流。连续模式设计能够保持较小的 MOSFET 电流和电感电流。然而,由于 MOSFET (Q1) 导通期间电流流过输出二极管(D2),输出二极管的反向恢复损耗较大,并可能导致更大的关断噪声。从图 6 电路波形可以看出,占空比为 69%时, MOSFET 的导通时间大约为 $3.4\mu\text{s}$, 关断时间大约为 $1.5\mu\text{s}$ 。一旦 MOSFET 关断,漏极电压将上升到输出电压与肖特基二极管压降之和。

MOSFET 驱动

由于采用连续模式设计, MOSFET 和电感峰值电流低于工作在非连续模式下的数值。但是,由于在导通和关断期间都有电流流过 MOSFET, MOSFET 在两次转换期间存在较大的开关损耗。MAX16834 以足够强的驱动能力使 MOSFET 在 5ns 内完全导通,在 10ns 内完全关断(图 8 和图 9),保持较低的温升。如果设计中存在 EMI 问题,则改变 MOSFET 栅极的串联电阻 R5,以调整开关时间。如果这一变化引起功耗过大,可以增加另一个 MOSFET Q2,与 Q1 并联,以降低温升。

输出电容

驱动器的输入和输出电容可以采用陶瓷电容。陶瓷电容具有更小尺寸,工作更可靠,但容值有限,尤其是在设计中要求 200V 的额定电压。图 5 中,设计表格显示驱动器需要一个 $5.4\mu\text{F}$ 电容以满足输出纹波电压的要求;为降低成本和空间,本电路采用 4 个 $1.2\mu\text{F}$ 电容(共 $4.8\mu\text{F}$)。输出电压开关纹波为 2.88V(图 10 和图 11),纹波电流为 182mA,是输出电流的 12%,略大于 10%目标参数,但仍然能够满足要求。

调光

MAX16834 提供很好的调光。当 PWM DIM (第 12 引脚)为低电平时,将发生三个动作:第一,开关 MOSFET Q1 的栅极驱动(NDRV,第 15 引脚)变为低电平,避免额外的能量传送到 LED 串;第二,调光 MOSFET Q4 的栅极驱动(DIMOUT,第 20 引脚)变为低电平,降低 LED 串电流并保持输出电容电压固定;最后,为保持补偿电容处于稳态电压,COMP (第 5 引脚)变为高阻态,以确保 IC 在 PWM DIM 返回高

电平时立即以正确的占空比启动。每个动作都允许极短的 PWM 导通时间，因此可提供较高的调光比。

缩短导通时间主要受限于电感的充电时间，参见图 12 和图 13，可以看到电流能够很好地跟随 DIM 脉冲。在电流脉冲的起始位置有衰减，主要是由于电感电流的爬升(大约 $12\mu\text{s}$ 或 2 - 3 个开关周期)。观察波形，可以看出需要大约 $40\mu\text{s}$ 至 $50\mu\text{s}$ 的时间电压才能完全恢复并建立。如果 DIM 导通脉冲小于 $50\mu\text{s}$ ，输出电压将在下个关断脉冲的起始处没有足够的时间。在提高 DIM 占空比之前，将一直持续这种现象。因此，满载(1.5A)时，DIM 导通脉冲不应低于 $50\mu\text{s}$ 。这意味着 100Hz DIM 频率下，调光比为 200:1。降低最小导通脉冲的唯一途径是提高输出电容，这将提高系统的成本，而且在通用照明中并不需要。如果降低 LED 电流，最小导通时间可随之降低，调光比增大。陶瓷电容表现为压电效应，调光期间会出现一定的音频噪声。不过，通过适当电路板布局，可以最大程度地降低噪声。

OVP

图 14 中，LED 串开路，MAX16834 的过压保护(OVP)电路在重新启动之前将首先关断驱动器 400ms。因为输出电容较小，电感储能可能产生的过冲，因此采用了 107V 峰值电压设置(高于 83V 设计值)。

电路调整及其它输入、输出

R15 是线性数字电位器，可以在 0A 至 1.7A 之间任意调节 LED 电流。MAX16834 具有一个输入(SYNC)，用于同步控制器的开关频率。UVEN 输入允许外部控制驱动器(通/断)。REFIN 输入端的低阻信号源可以优先于电位器设置，控制驱动器电流。例如，微控制器经过缓冲的 DAC 可以通过 REFIN 直接控制 LED 电流。出现故障(例如 OVP)时，FLT# 输出低电平。一旦解除故障，信号变为高电平，该信号并不闭锁。

温升

测量效率为 96.63% ($V_{IN} = 24.01\text{V}$ 、 $I_{IN} = 1.49\text{A}$ 、 $P_{IN} = 115.49\text{W}$ 、 $V_{LED} = 74.9\text{V}$ 、 $I_{LED} = 1.49\text{A}$ 、 $P_{OUT} = 111.60\text{W}$)。由于电路的频率较高，驱动器元件并不发热。温度最高的元件为调光 MOSFET Q4，温升大约 41°C 。这一温升是由于小尺寸 PCB 布局造成的，可以通过增大漏极附近的覆铜面积改善。电感尺寸较大，具有 23°C 的温升，高于预期的 7°C (图 15)。电感似乎吸收了部分 MOSFET 热量，因为它们共用大面积覆铜焊盘。

温度测量

以下温度是在实际 LED 负载测试中得到的：

VIN:24VDC

Ambient:16° C Δ T

L1:39° C 23° C

D1:51° C 35° C

Q1:51° C 35° C

Q3:57° C 41° C

IC:33° C 17° C

上电步骤

在 LED+ 和 LED- 之间连接最多 20 只串联 LED, 同时串联安培表以测量电流 (注: 如果 LED 的正向导通电压完全匹配并且/或者增加串联均衡电阻, 可以采用并联架构)。

在 VIN 和 GND 之间连接 24V、6A 电源。

在连接器 J2 插入短路器。

打开 24V 电源。

调节 R15 将电流设置为 0 至 1.5A。

如果需要调光, 则在 DIM IN 和 GND 之间连接 PWM 信号 (0V 至 3.3V)。

按照上述内容调节 PWM 占空比, 实现调光。