

LED 驱动器

AN-EVALLED-ICL8002G-B1

用于 13W 可调光 LED 球泡灯的具有功率因数校正功能的
准谐振反激式变换器

ICL8002G

应用说明

版本 1.1, 2012-08-03

版本 2012-08-03

由 Infineon Technologies AG 出版
81726 Munich, Germany

© 2012 Infineon Technologies AG
保留所有权利

法律免责声明

在任何情况下均不得将本文件所提供的信息视为对条件或特征的担保。英飞凌科技公司特此声明，对本文中所提及的任何示例或提示、任何典型数值和/或任何与设备应用相关的信息，不作任何及所有形式的担保或承担任何及所有形式的责任（包括但不限于对不侵犯任何第三方知识产权的担保）。

为方便客户浏览，英飞凌以下所提供的将是有关英飞凌产品及服务资料的中文翻译版本。该中文翻译版本仅供参考，并不可作为任何论点之依据。虽然我们尽力提供与英文版本含义一样清楚的中文翻译版本，但因语言翻译和转换过程中的差异，可能存在不尽相同之处。因此，我们同时提供该中文翻译版本的英文版本供您阅读，请参见【[Application Note Evaluation Board ICL8002G Flyback](#)】。并且，我们在此提醒客户，针对同样的英飞凌产品及服务，我们提供更加丰富和详细的英文资料可供客户参考使用。请详见【[ICL8002G](#)】

客户理解并且同意，英飞凌毋须为任何人士由于其在翻译原来的英文版本成为该等中文翻译版本的过程中可能存在的任何不完整或者不准确而产生的全部或者部分、任何直接或者间接损失或损害负责。英飞凌对于中文翻译版本之完整与正确性不担负任何责任。英文版本与中文翻译版本之间若有任何歧异，以英文版本为准，且仅认可英文版本为正式文件。

您如果使用以下提供的资料，则说明您同意并将遵循上述说明。如果您不同意上述说明，请不要使用本资料。

信息

有关技术、交货条款及条件和价格的更多信息，请与您最近的英飞凌科技公司办事处 (www.infineon.com) 联系。

警告

由于技术要求，元件可能含有危险物质。如需相关型号的信息，请与距离您最近的英飞凌科技公司办事处联系。如果可能合理地预期此类元件的故障会导致生命支持设备或系统发生故障或影响该设备或系统的安全性或有效性，则英飞凌科技公司提供的元件仅可用于获得英飞凌科技公司明确书面批准的生命支持设备或系统。生命支持设备或系统的目的是植入人体或支持和/或保持并维持和/或保护生命。如果出现故障，则可能危及使用者或他人的健康。

ICL8002G

修订历史: 2012-08-03, 版本 1.1

先前版本: 1.0

页码	变更内容 (自上次修订后的主要变更)
15	增加“生产容差和分布”

BDTIC

1	引言	5
2	特性一览	5
3	技术规格	5
4	演示板设计	6
4.1	演示板 PCBA	6
4.2	示意图	6
4.3	基于 TRIAC 的调光器的兼容性	7
4.4	单级功率因数校正	7
4.5	电源调节	7
5	测试装置和测试结果	8
5.1	输入/输出	8
5.1.1	输入	8
5.1.2	输出	8
5.2	通电	8
5.3	MOSFET 工作波形	9
5.4	恒定输出功率控制	9
5.5	输出波形	11
5.6	输入波形	11
5.7	切相调光	12
5.7.1	测试装置	12
5.7.2	调光期间的波形	12
5.7.3	可兼容切相调光器列表	12
5.8	系统效率	13
5.9	保护功能	14
5.9.1	输出开路保护	14
5.9.2	输出短路保护	14
5.10	传导 EMI	14
6	生产容差和正态分布	15
7	板布局	16
8	BOM 和变压器规格	17
8.1	材料清单	17
8.2	变压器	18
9	定制设计	19
10	常见问题和故障排除提示	20
10.1	常见问题	20
10.2	故障排除提示	20
11	参考资料	21

1 引言

ICL8002G 是一种专为高效离线 LED 驱动应用设计的准谐振 PWM 控制器。可以针对不同拓扑结构对它进行配置，例如反激式变换器和降压转换器。此演示板演示了它在具有隔离型反激式拓扑结构的可调光 LED 球泡灯应用中的功能。其准谐振工作模式、一次侧控制、集成式 PFC 和切相调光控制、各种保护功能使其成为适用于可调光 LED 球泡灯的出色的系统解决方案。

与 ICL8001G 演示板相比，新的 ICL8002G 演示板在调光性能和输出功率方面有巨大改进，因此输出电流非常稳定。通过增加阻尼电路块和泄放电路块使该演示板与基于 TRIAC 的切相调光器的兼容性得以改善。通过额外的电源调节电路使输出功率在很宽的输入电压范围内的稳定性得以提高。尽管采用了额外电路块，BOM 在非常有竞争力的范围内仍保持不变。

可以使用销售代码 EVALLED-ICL8002G-B1 订购此演示板。

2 特性一览

- 调光曲线平滑，调光器兼容性高
- 采用准谐振反激式工作方式，效率高 (>85%)
- 极高功率因数，且 THD 低 (<20%)
- 紧凑型单级设计
- 高精度一次侧控制
- 流明输出容差小
- 通过集成的电池元件实现短时照明
- 内置数字软启动
- 保护功能完善
- 对可调光球泡灯而言，系统 BOM 成本较低



3 技术规格

表 1 列出了 EVALLED-ICL8002G-B1 演示板的性能规格。输入电压是指未经切相调光器修改的 RMS 电压。此演示板采用的方法以恒功率控制为基础，所以输出功率固定不变。因此，通过输出电压确定输出电流，输出电压的范围如下表所示。

表 1 设计规格

参数	值	单位
输入电压	196-265	V
电源频率	50	Hz
输入功率	13	W
输出功率	11	W
输出电压	36-42	V
输出电流*	300	mA
功率因数	>0.9	
THD	<20%	
效率**	>85%	

*: 实际输出电流取决于输出电压

**：效率是在 230 V_{ac}、输出电压和电流为 38V/290mA 的条件下测定的

4 演示板设计

4.1 演示板 PCBA

图 1 显示的是用 ICL8002G 设计的演示板的顶层和底层。

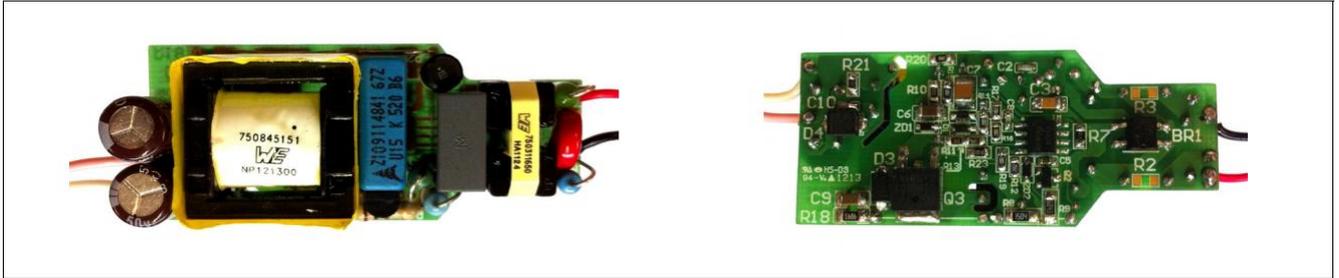


图 1 EVALLED-ICL8002G-B1 演示板

4.2 示意图

图 2 显示的是用 ICL8002G 设计的 13W 可调光 LED 球泡灯应用示意图。

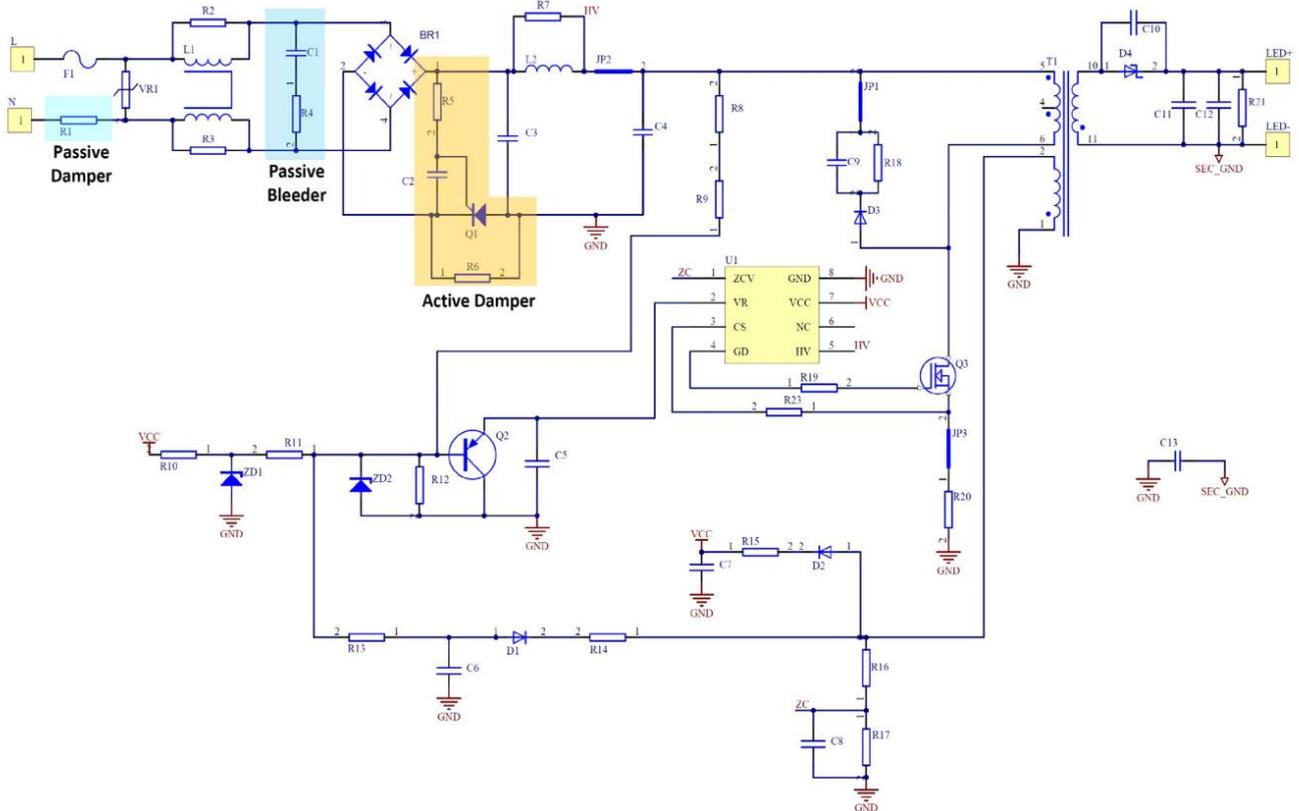


图 2 EVALLED-ICL8002G-B1 示意图

4.3 基于 TRIAC 的调光器的兼容性

基于 TRIAC 的调光器可以完美用于白炽灯等阻性负载。当它们用于开关式 LED 驱动器等非阻性负载时，可能产生频闪问题，这主要是因保持电流不足以及电流振荡——尤其是在 TRIAC 点火期间——造成的。因此，为了提高与基于 TRIAC 的调光器的兼容性，通常在 LED 驱动器中实施泄放电路和阻尼电路。

这种设计中包含的被动式泄放电路（由 C1 和 R4 形成）可以使输入电流保持在 TRIAC 的保持电流阈值之上。R1、R6 这两个电阻器被用于抑制振荡及减小突入电流。阻尼电阻器可能造成很大的功率损耗，因此可以在 TRIAC 点火后立即绕过它们以提高效率。通过 R5、C2 和晶闸管 Q1 形成的电路可实现这一点。每当 TRIAC 导通时，由于 R5 和 C2 引起的延迟，晶闸管 Q1 将保持关断状态，由此使突入电流受到 R6 的限制。当 Q1 的栅极电压因充电上升到其触发电压时，Q1 将接通并绕过 R6。然后 Q1 将保持导通，直到电流在每个周期结束时下降至其保持电流水平以下。

4.4 单级功率因数校正

单级功率因数校正 (PFC) 有助于实现高效、具有成本效益的紧凑型 LED 驱动器设计。在这种演示板设计中，通过感测电源输入电压（通过图 3 所示的 R8、R9、R12、Q2）并在每个开关周期内调节初级绕组的峰值电流，使其与 ICL8002G 的 VR 引脚处的电压感测信号大致成比例，以此来实现 PFC。因此，形成的输入电流或多或少是正弦式，可实现高功率因数，且输入电流谐波可满足 EN61000-3-2 标准的要求。

4.5 电源调节

上述功率因数校正方法还表明，输入电压越高，初级电流就越高，因而使输出功率也越高。为了形成恒定功率，初级电流应在输入电压升高时减小。因此为了在电源电压变化时形成稳定输出功率（和流明输出），有必要采用一些补偿方法来使电源得到妥善调解。

在此设计中，通过 IC 的集成式折返校正功能以及 R13、C6、D1、R14 形成的电路实现电源调节。C6 和 D1 以及反激式变压器的辅助绕组会一起产生与经过校正的输入电压成比例的负电压。通过为 R13 选择合适的值，可使 Q2 的基极峰值电压和 VP 引脚电压在电源电压变化时仍基本保持恒定。R10、R11、ZD1 形成的电路会对 Q2 的基极增加一个直流偏移，以防其下降为负电压。它还将确定 VR 电压的峰值水平，并反过来确定输出功率。ZCV 引脚能够通过 R16 和辅助绕组检测输入电压，这样可使 IC 根据输入电压改变初级电流感测电压。这意味着当输入电压升高时，初级电流会减小。可通过改变 R16 的值对补偿的范围进行调节。

有必要通过微调 R13 的阻值为电源变化提供最佳补偿。根据经验，可以用以下公式计算 R13。

$$R13 \approx (R8 + R9) * \frac{N_{aux}}{N_p} \quad (1)$$

其中 N_{aux} 和 N_p 分别是辅助绕组和初级绕组的匝数。

5 测试装置和测试结果



注意：此演示板上存在致命电压。除非您接受过处理高压电路的培训，否则不要操作此演示板。演示带电时必须有人看管。

5.1 输入/输出

5.1.1 输入

将交流电源 (196V-265V) 与红线（火线）和黑线（中性线）相连。为实现调光操作，应按照国家制造商提供的调光器说明书将切相调光器与输入端相连。

5.1.2 输出

将 LED 模块 (36V~42V/300mA) 与演示板的粉色线（正）和白色线（负）相连。

5.2 通电

ICL8002G 通过含有的启动元件给 Vcc 电容器充电，直到此电容器成功启动。图 3 显示的是从电源电压接通到光输出的启动波形。从图中可以看出，C7 的 Vcc 电容为 22 μ F 时的启动时间为 350ms。

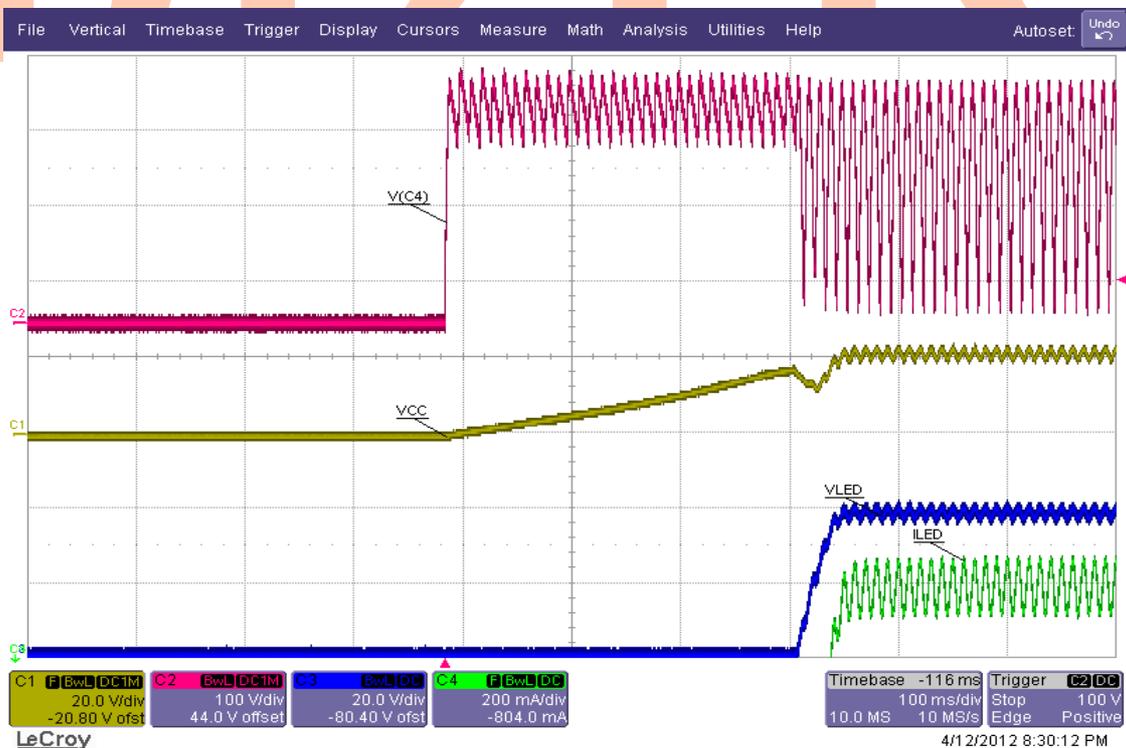


图 3 启动：经过整流的电源输入电压（C2，红色），控制器 Vcc（C1，黄色），输出电压（C3，蓝色）和输出电流（C4，绿色）

5.3 MOSFET 工作波形

ICL8002G 是一种准谐振 PWM 控制器，它会在 MOSFET 的漏极电压下降至谷点时导通 MOSFET。这有助于减小电流尖峰和开关损耗，从而提高效率及 EMI 性能。图 4 显示的是一次侧的 MOSFET Q1 的典型开关波形。

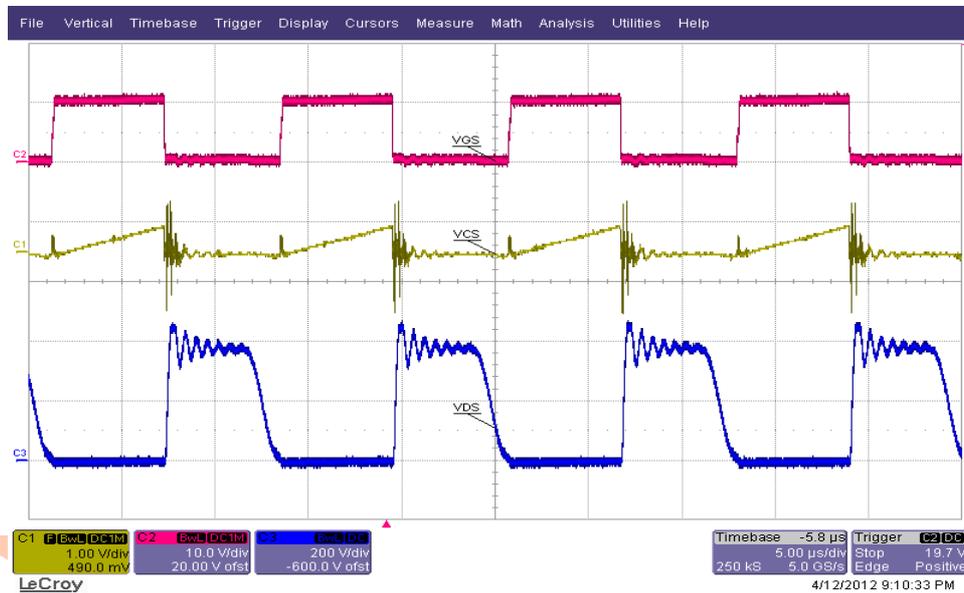


图 4 典型开关波形：栅极驱动电压（C2，红色），分路信号 VCS（C1，黄色）和漏源电压 VDS（C3，蓝色），显示准谐振开关

5.4 恒定输出功率控制

这种基于 ICL8002G 的单级反激式方法可形成不受输入电压和输出电压变化影响的恒定输出功率。对于 LED 球泡灯应用，当 LED 灯数量不变时，输出电压的变化有限，这意味着输出电流相对恒定。请参阅图 5，了解测得的输出功率调节特性。

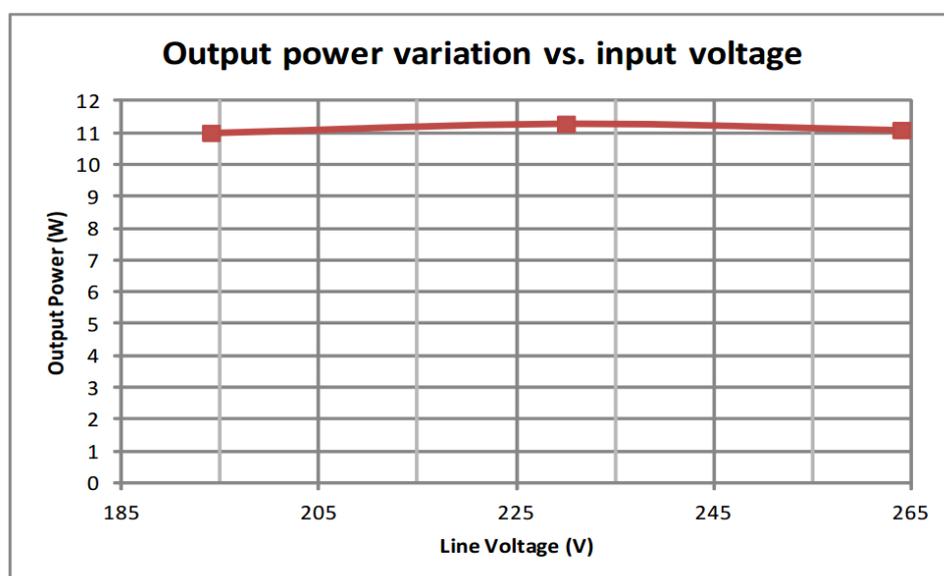


图 5 输出功率与电源电压的关系

输出功率固定不变时，LED 负载将在其 I-V 特性曲线与恒功率曲线的交点（电流和电压）处工作。图 6 显示了确定 LED 的工作点的方法。

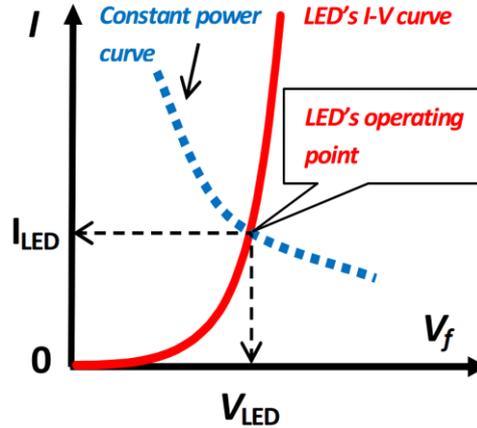


图 6 恒功率控制下的 LED 工作点

图 7 显示的是测得的 LED 电流与电源电压的关系在整个输入电压范围内 (196Vac-265Vac)，最大电流偏差被限制为 -2.5%。

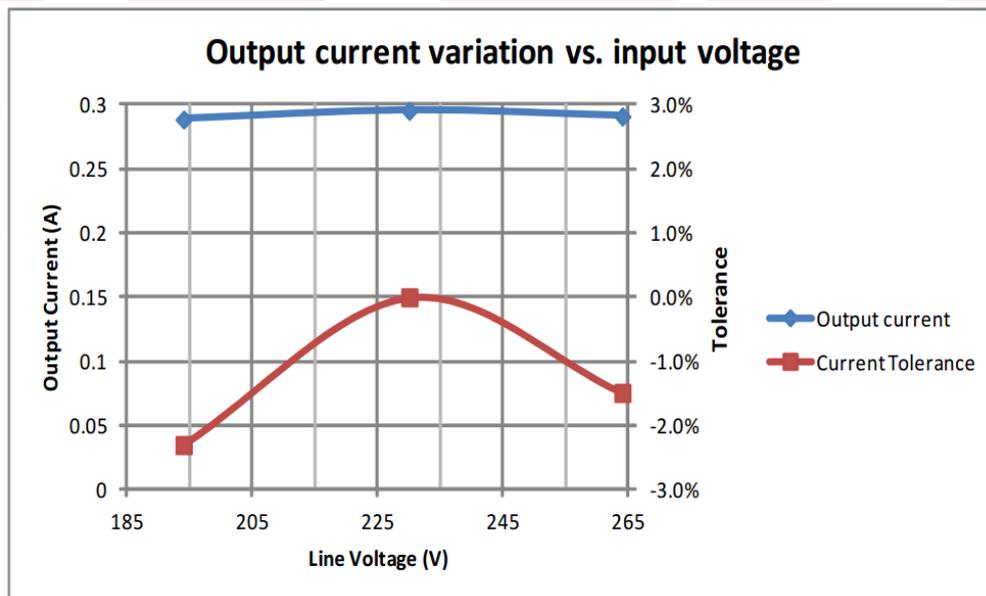


图 7 LED 电流与电源电压的关系

恒电流控制会产生更高的输出功率和更高的 LED 正向电压，与之相比，恒功率控制可实现不受 LED 正向电压影响的稳定输出功率。系统热设计主要是由输出功率决定的，因此在输出功率恒定的情况下，没必要留出较高热设计余量。这样可以简化及优化散热设计，因此有助于降低系统成本。恒功率控制的另一个优点在于，它有助于在 LED 模块的流明容差和温度变化的情况下维持恒定的流明输出。

5.5 输出波形

单级 PFC 设计不可避免地会在输出端形成两倍电源频率纹波。增大输出电容值有助于减小输出纹波。但这通常要以系统的波形因数为代价。在演示板设计中，根据输出电流纹波确定输出电容器（C11 和 C12）的大小，输出电流纹波未表现出可见的光调制。图 8 显示的是测得的输出电压和输出电流波形。电流纹波的调制深度约为 25%。

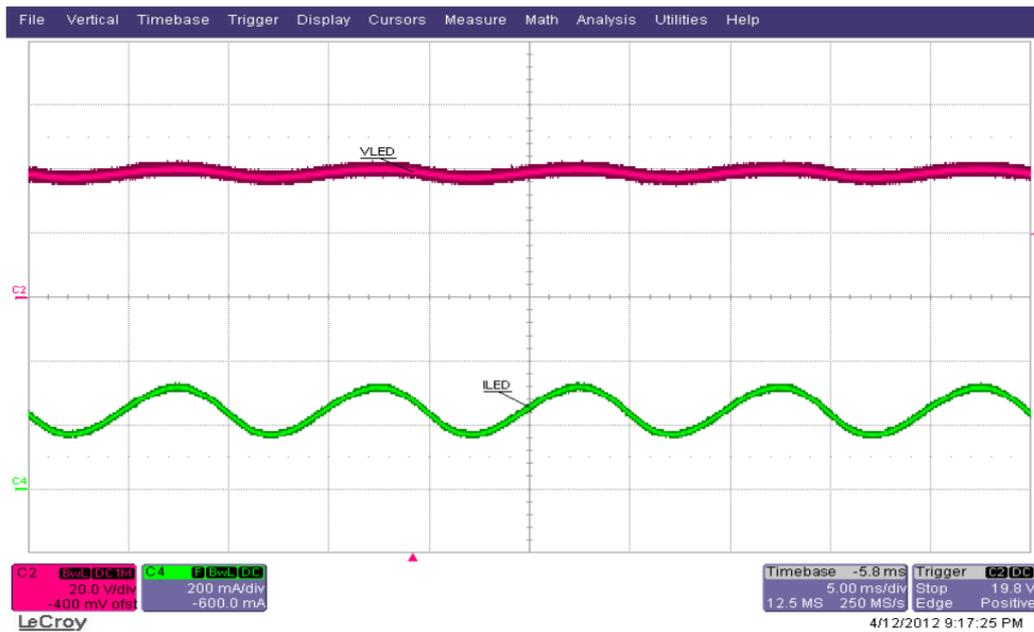


图 8 典型波形：输出电压（C2，红色）和输出电流（C4，绿色）

5.6 输入波形

图 9 显示的是在 230Vac 和全载情况下正常工作时输入电压、输入电流和分流电压的波形。测得的功率因数大于 0.93，且输入电流谐波幅值可满足 EN 61000-3-2 标准的要求。

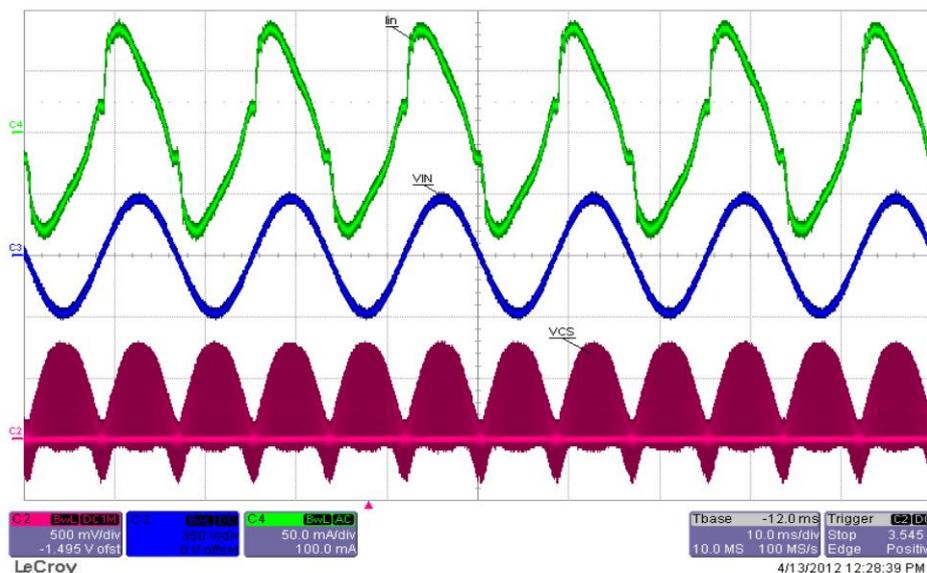


图 9 输入电压 $V_{\text{输入}}$ （C3，蓝色），输入电流 $I_{\text{输入}}$ （C4，绿色）和分流电压 V_{CS} （C2，红色）

5.7 切相调光

5.7.1 测试装置

评估调光性能时，应按图 10 连接切相调光器。

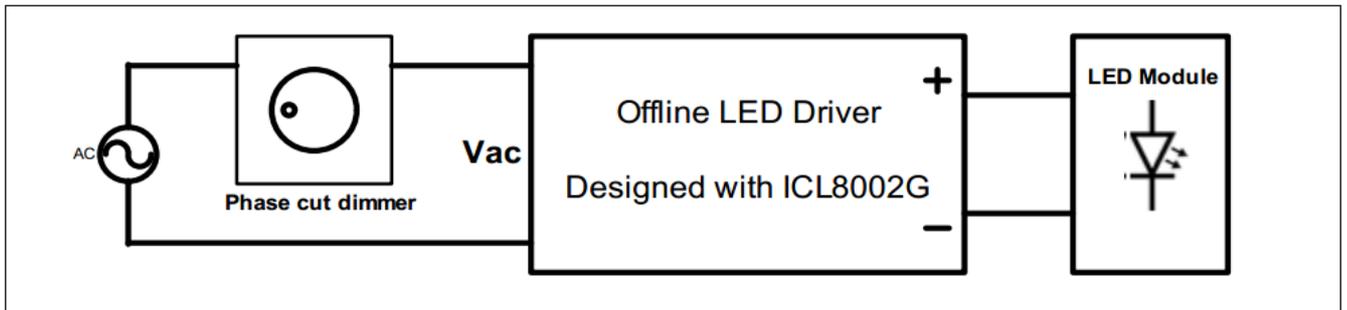


图 10 切相调光布局

5.7.2 调光期间的波形

图 11 显示的是用前沿切相调光器操作 LED 驱动器时的输入电压、输入电流和 LED 模块的电流的波形。

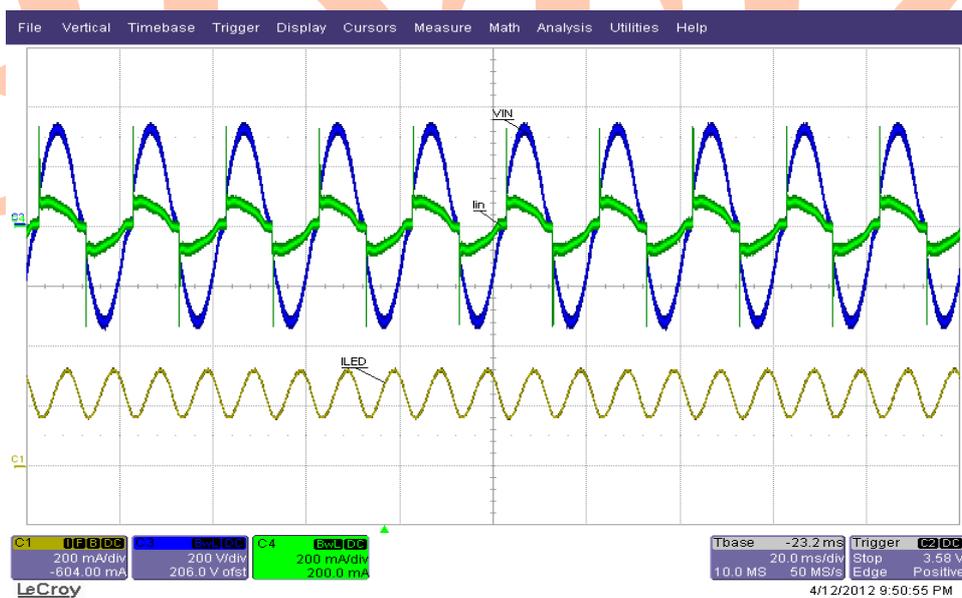


图 11 输入电压 $V_{\text{输入}}$ (C3, 蓝色)，输入电流 $I_{\text{输入}}$ (C4, 绿色) 和 LED 电流 (C1, 黄色)

5.7.3 可兼容切相调光器列表

表 2 列出了在此演示板上测试的一些无频闪切相调光器。

表 2 在 230 V_{ac} / 13 W 的输入下测试的可兼容切相调光器

制造商	型号	类型	功率极限	调光范围
BUSCH JAEGER	2200UJ-212	前沿	400 W	21– 100 %
BUSCH JAEGER	2200	前沿	400 W	27 – 100 %

表 2 在 230 V_{ac} / 13 W 的输入下测试的可兼容切相调光器

制造商	型号	类型	功率极限	调光范围
BUSCH JAEGER	2247U	前沿	500 W	23 – 100 %
BUSCH JAEGER	2250U	前沿	600 W	15 – 100 %
CLIPSAL	32E450LM	前沿	450 W	11 – 100 %
CLIPSAL	32E450UDM	后沿	450 W	26 – 100 %
CLIPSAL	4062E450UDM	后沿	450 W	26 – 100 %
SIEMENS	5TC8 256	前沿	400 W	2 – 100 %
SIEMENS	5TG0752-1NC1	前沿	400 W	27 – 100 %
SIEMENS	5UH8022-3NC01	前沿	500 W	31 – 100 %
LUMEO	LICHTREGLER T10	前沿	300 W	1 – 100 %
TCL	NA	前沿	630 W	1 – 100 %
GZQS	NA	前沿	630 W	17 – 100 %
NVC	NA	前沿	400 W	24 – 100 %
OPPLE	E068101	前沿	300 W	1 – 100 %
PDL	CAT634LM	前沿	450 W	17 – 100 %
MANK	NA	前沿	200 W	24 – 100 %
FLEXALITE	NA	前沿	630 W	3 – 100 %
DIGITRAC	NA	前沿	400 W	14 – 100 %
HPM	400T	后沿	400 W	1 – 100 %
BERKER	23010	前沿	400 W	21 – 100 %
OPUS	852.39	前沿	400 W	19 – 100 %

5.8 系统效率

图 12 显示的是 LED 驱动器系统的效率与光源电压的关系，从图中可以看出，由于准谐振运行，此系统在整个输入电压范围内的效率都很高 (>84%)。

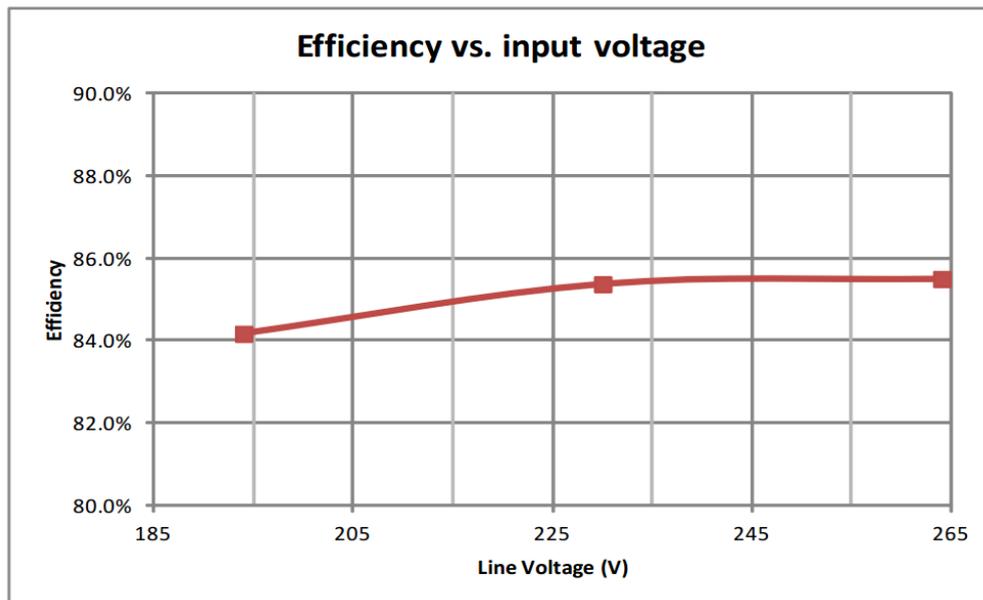


图 12 LED 驱动器效率与输入电压的关系

5.9 保护功能

表 3 提供的是 ICL8002G 具有的保护功能。

表 3 ICL8002G 的保护功能

VCC 过压	自动重启模式
VCC 欠压	自动重启模式
输出过压	锁存关断模式
输出短路	自动重启模式
短绕组	锁存关断模式
过热	自动重启模式

5.9.1 输出开路保护

在运行期间，如果输出端为开路状态，输出电压会升高，于是 MOSFET 关断时辅助绕组产生的电压也会升高。通过 R16 和 R17 用 ICL8002G 的 ZCV 引脚检测此电压。此电压一达到 OVP 阈值 ($V_{zcvop} = 3.7V$) 就会触发输出过压保护，IC 也将进入锁存关断模式。另一方面，辅助绕组产生的电压将为 Vcc 供电，如果 Vcc 达到阈值 ($V_{vccop} = 25V$)，则会触发 Vcc 过压保护。在这种演示板设计中，当输出端处于开路状态时，Vcc 过压保护将被触发，IC 也将进入自动重启模式。自动重启模式下的功耗小于 0.5W。

5.9.2 输出短路保护

如果输出端短路，IC 将通过 VCC 欠压检测方式切换至自动重启模式。此模式下的总输入功耗会保持在远低于 1W 的水平。

5.10 传导 EMI

在全载条件下用 230V_{ac} 进行传导 EMI 测试。绘制 EMI 峰值曲线并与 EN55015(CISPR15) 的准峰值极限曲线对比。观察到约 10dB 的差值。

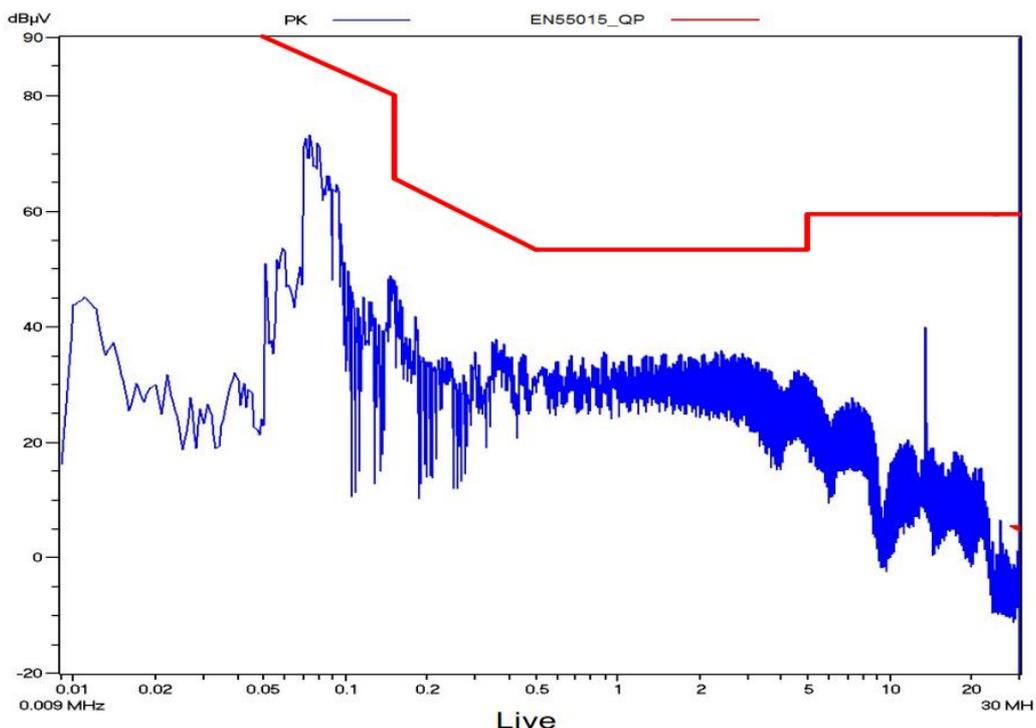


图 13 在全载条件下用 230V_{ac} 测试（火线）。EN55015 B 极限。

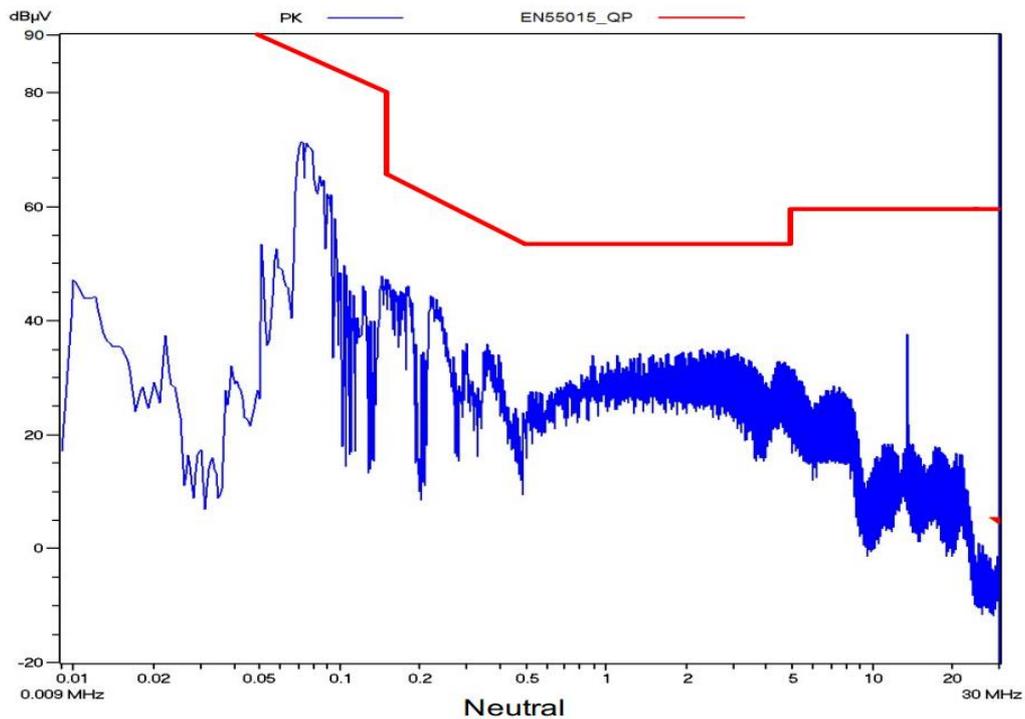


图 14 在全载条件下用 $230V_{ac}$ 测试（中性线）。EN55015 B 极限

6 生产容差和正态分布

为了检查因 IC 和外部元件容差造成的生产容差，总共对 72 个演示板样本进行了测试，并在相同测试条件下记录每个板的输出功率（电源电压为 $230V_{ac}$ ，环境温度为 $25^{\circ}C$ ）。图 15 显示的是输出功率的分布数据。

结果表明输出功率容差为 $\pm 3\%$ ，标准偏差为 $0.15W$ 。

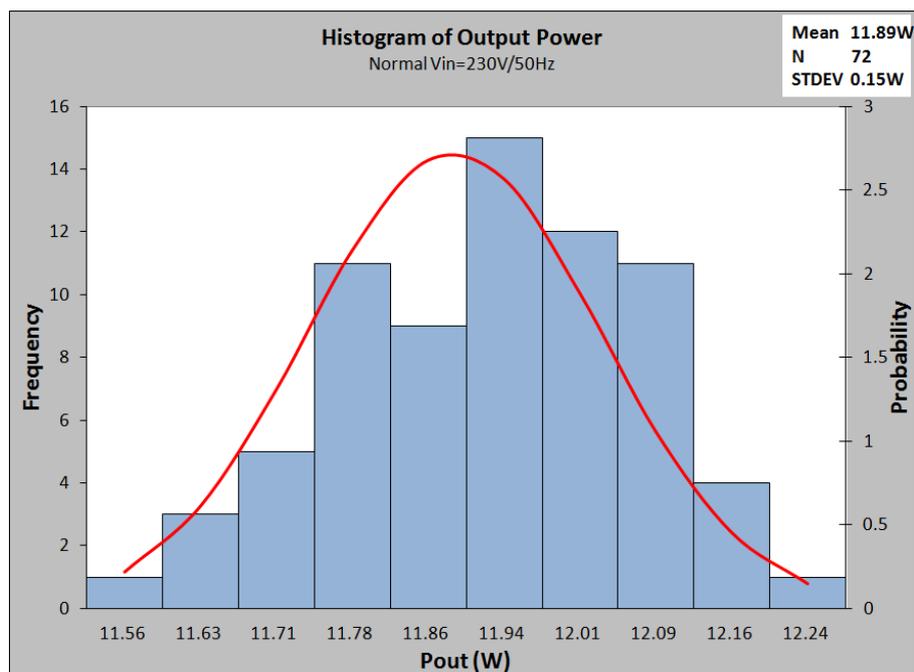


图 15 输出功率的生产变化（板到板偏差）

7 板布局

此演示板使用的是厚 0.8 mm 的单层 PCB。此演示板的最大高度（C11 处）为 23.2mm。它可以适应许多不同的光源装置，例如 A19 球泡灯和 PAR30。此演示板的设计可以满足 UL 安全标准对电流隔离的要求，但未进行安全认证。

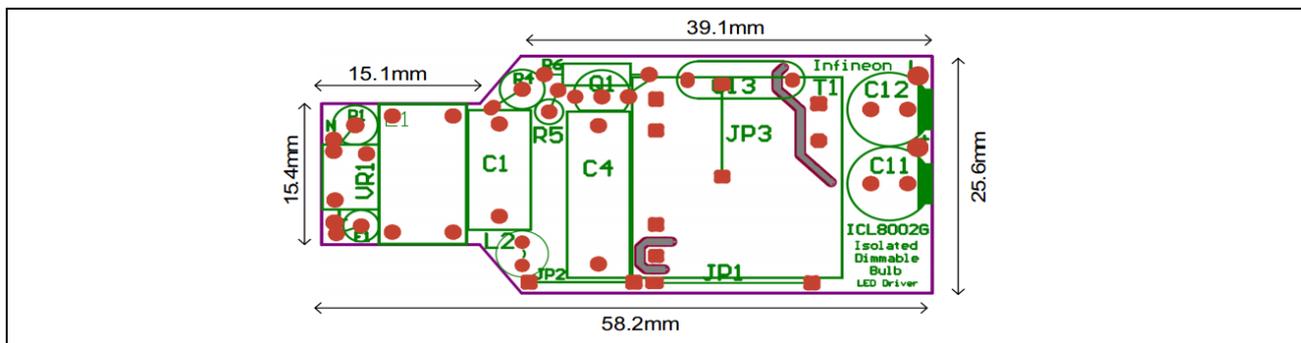


图 16 EVALLED-ICL8002G-B1——顶层

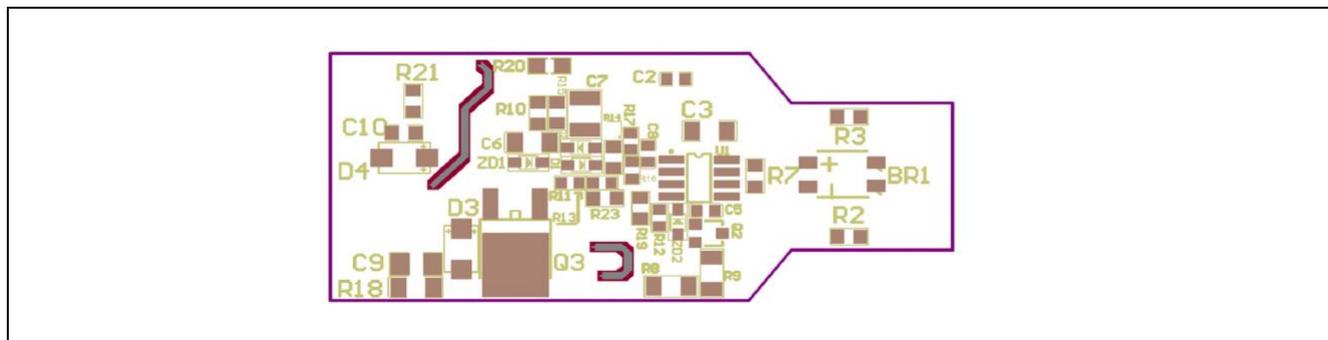


图 17 EVALLED-ICL8002G-B1——底层

8 BOM 和变压器规格

8.1 材料清单

 EVALLED-ICL8002G-B1 材料清单						
序号	参考名	值	说明	封装	部件编号	制造商
1	U1	ICL8002G	LED 驱动器 IC	SO8	ICL8002G	INFINEON
2	BR1	600V 0.5A	桥式二极管	TO-269AA	MB6S-E3/80	VISHAY
3	C1	275VAC 0.15uF	薄膜电容器, 脚距 10mm		R46KF315000P0M	KEMET
4	C2	50V 150nF	MLCC, X7R	0603	C0603C154K5RACTU	KEMET
5	C3	630V 15nF	MLCC, X7R	1206	GRM31CR72J153KW03L	MURATA
6	C4	520V 0.15uF	薄膜电容器, 脚距 15mm		B32672Z5154K	EPCOS
7	C5	50V 10nF	MLCC, X7R	0603	GRM188R71H103KA01D	MURATA
8	C6	50V 4.7uF	MLCC, X7R	1206	GRM31CR71H475KA12L	MURATA
9	C7	25V 22uF	MLCC, X7R	1210	GRM32ER71E226KE15L	MURATA
10	C8	50V 330pF	MLCC, X7R	0603	C1608X7R1H331K	TDK
11	C10	250V 1nF	MLCC, X7R	0805	C0805C102KARACTU	KEMET
12	C11	50V 180uF	电解电容器, Lo=9000H	8 x 20	EEUFR1H181L	PANASONIC
13	C12	50V 120uF	电解电容器, Lo=9000H	8 x 15	EEUFR1H121L	PANASONIC
14	C13	250VAC 2.2nF	陶瓷电容器, 介电强度 4kV		DE1E3KX222M	MURATA
15	D1,D2	75V 0.2A	开关二极管	SOD323	BAS16HT1G	ONSEMI
16	D4	150V 3A	肖特基二极管	SMB	STPS3150U	ST
17	F1	250V 5A	熔断器, 快速熔断		0263005.MXL	LITTELFUSE
18	JP2, JP3		跳线, 引脚直径 = 0.6mm			
19	L1	45mH 0.18A	共模扼流圈		750311650	Würth Elektronik
20	L2	1.5mH 0.19A	滤波扼流圈		7447462152	Würth Elektronik
21	Q1	600V 0.8A	SCR	TO92	MCR100-8	ONSEMI
22	Q2	45V 0.1A	NPN 晶体管	SOT23	BC857B	INFINEON
23	Q3	800V 2A	MOSFET	DPAK	SPD02N80C3	INFINEON
24	R1	100R 2W	金属膜电阻器, 5%	4 x 10	MFP2-100R JI	WELWYN
25	R4	1.2kOhm 2W	金属膜电阻器, 5%	4 x 10	MFP2-1K2 JI	WELWYN
26	R5	1M0hm 1W	金属膜电阻器, 5%	2.5 x 6.2	MFP1-1M JI	WELWYN
27	R6	100R 1W	金属膜电阻器, 5%	2.5 x 6.2	MFP1-100R JI	WELWYN
28	R7	4.7kOhm	金属膜电阻器 1%	0805		
29	R8	1.1M0hm	金属膜电阻器, 1%	1206		
30	R9	1M0hm	金属膜电阻器, 1%	1206		
31	R10	5.1kOhm	金属膜电阻器, 1%	0805		
32	R11	82kOhm	金属膜电阻器, 1%	0603		
33	R12	25.5kOhm	金属膜电阻器, 1%	0603		
34	R13	160kOhm	金属膜电阻器, 1%	0603		
35	R14, R15, R19	10R	金属膜电阻器, 1%	0805		
36	R16	20kOhm	金属膜电阻器, 1%	0603		
37	R17	3.3kOhm	金属膜电阻器, 1%	0603		
38	R20	2R	金属膜电阻器, 1%	0805		
39	R21	56kOhm	金属膜电阻器, 1%	0805		
40	R23	0R	金属膜电阻器, 1%	0805		
41	T1		变压器, Lp = 3.9mH, Np:Ns:Naux = 139:24:12	EF20	750845151	Würth Elektronik
42	VR1	470V	压敏电阻器, 19J, 300Vrms	5mm 平板型	MCFT000231	Multicomp
43	ZD1	15V	齐纳二极管, 2%	SOD323	PDZ15B,115	NXP
44	ZD2	4.7V	齐纳二极管, 2%	SOD323	PDZ4.7B,115	NXP

图 18 材料清单

8.2 变压器

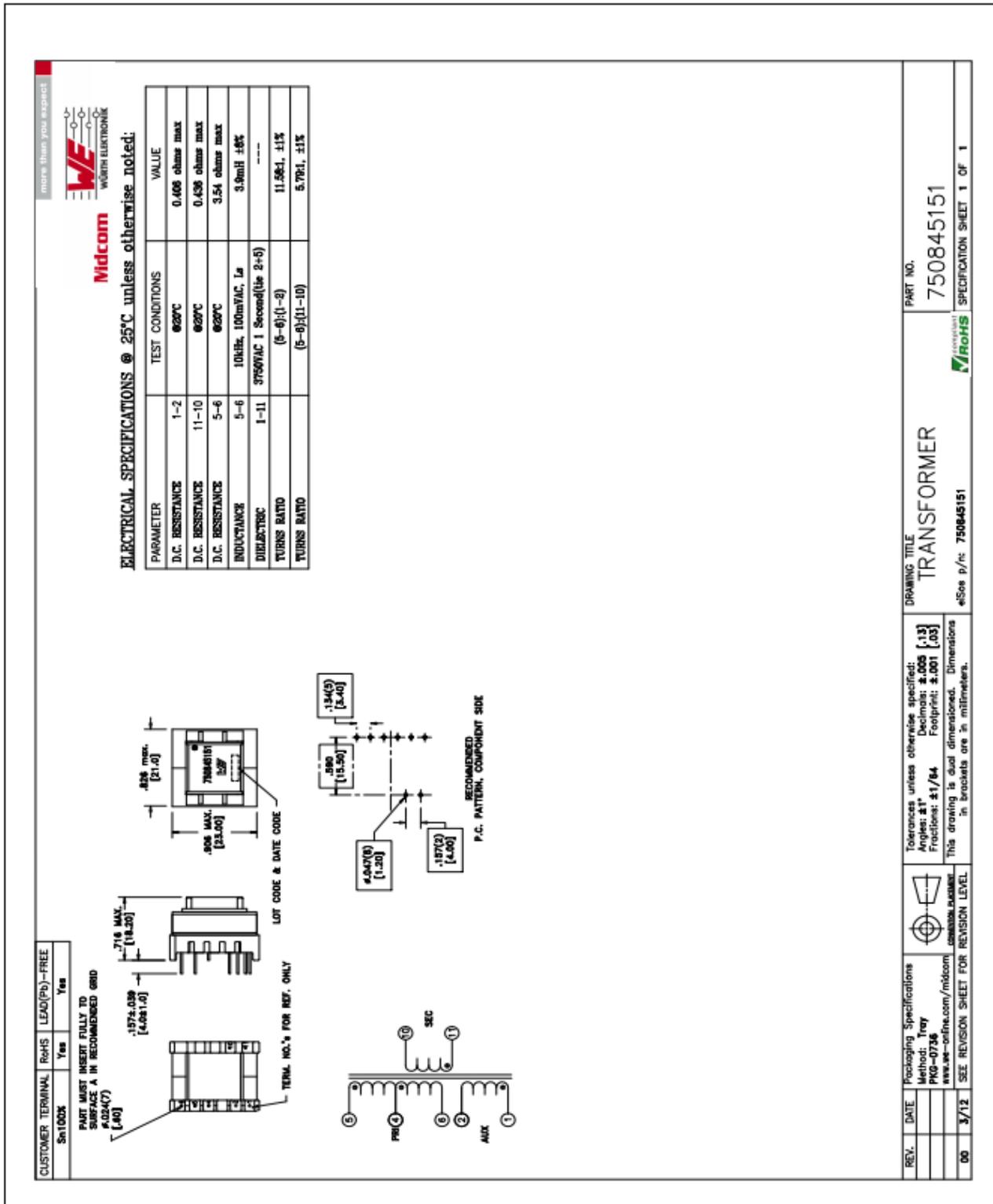


图 19 EVALLED-ICL8002G-B1 变压器设计

9 定制设计

为了便于针对此演示板未提供的不同电压和/或电流进行定制设计，英飞凌提供了一种交互式在线设计解决方案，[Infineon Light Desk](#)。

用户可以使用这种基于云的设计工具来指定系统要求、创建示意图和 BOM、模拟运行及生成设计概要报告。建议用户在最终确定产品设计之前，针对原型设计中的效率、PF、EMI 及调光兼容性等关键性能进行验证和调整。图 20 和图 21 显示的是 [Infineon Light Desk](#) 的一些截图。

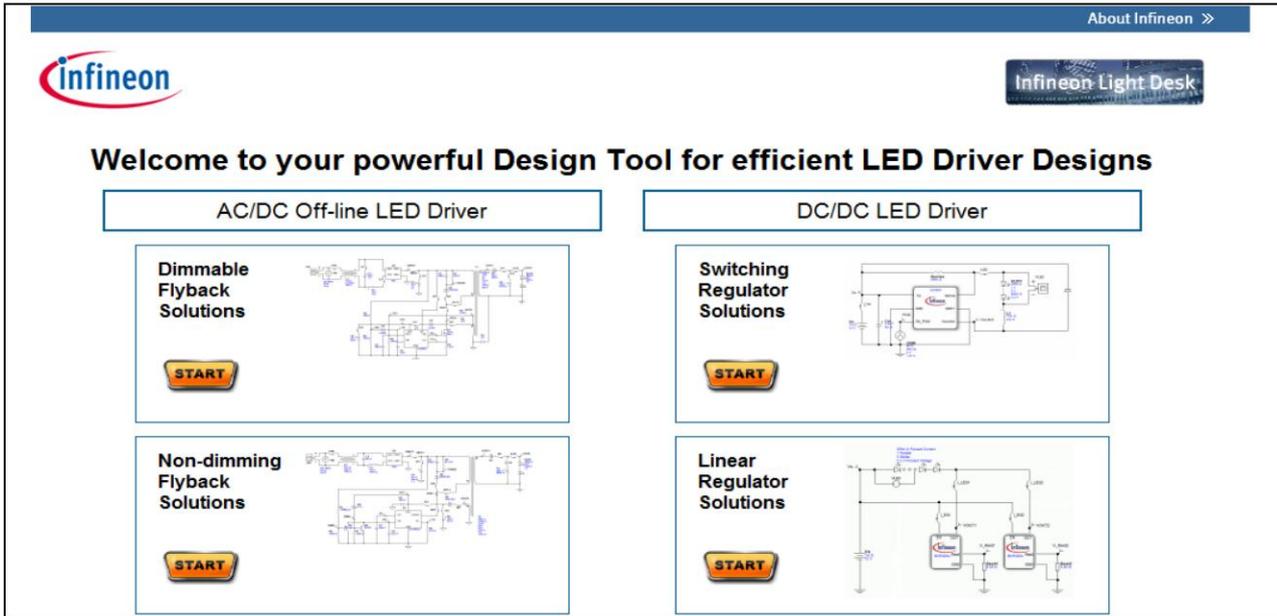


图 20 Infineon Light Desk——解决方案的选择

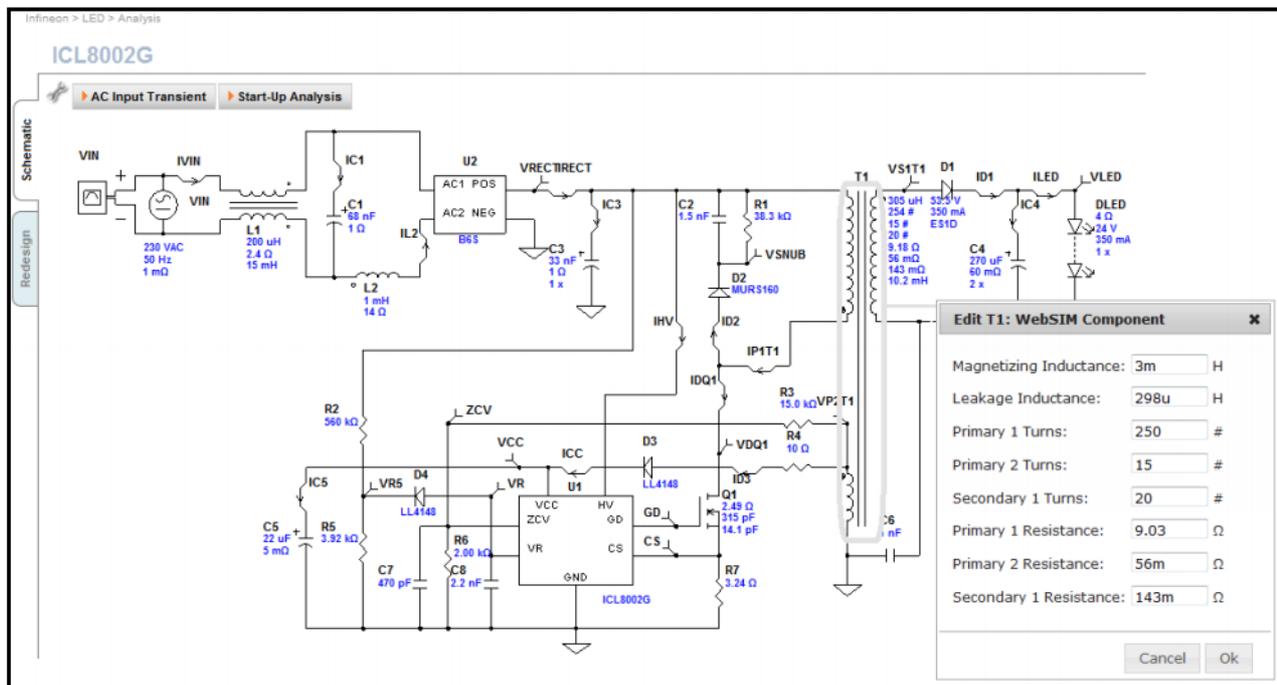


图 21 Infineon Light Desk——交互式网络示意图

10 常见问题和故障排除提示

10.1 常见问题

ICL8002G 如何实现调光控制和功率因数校正？

调光控制和 PFC 都是通过用 VR 引脚感测电源输入电压实现的。使用此信号设置初级绕组的峰值电流，然后通过调节周期能量实现 PFC 和切相调光功能。

ICL8002G 如何调节 LED 输出电流？

ICL8002G 不能直接调节此输出电流。它是通过产生恒定输出功率来调节的。LED 负载将在其 I-V 特性曲线与恒功率曲线的交点（电流和电压）处工作。

是否可以总正向电压变化较大的不同 LED 模块来测试此演示板？

表 1 规定了输出电压的工作范围。用超出正向电压范围的 LED 负载测试时，此演示板将因 Vcc 过压保护或 Vcc 欠压保护切换到保护模式。对于具有不同输出电压的应用，有必要修改变压器设计。

在空载情况下会发生什么？

在空载情况下，此演示板将进入自动重启模式，输出电压降超过 45V。因此建议在接通电源前连接合适的 LED 负载。

10.2 故障排除提示

连接 LED 负载并接通电源后为什么没有光输出？

请检查：

- 交流输入和 LED 负载的连通性
- LED 模块的极性
- LED 模块的正向电压是否超出**表 1**规定的范围
- 熔断器的导电性

如何更改输出电流？

在 LED 负载固定的情况下，输出电流与输出功率成比例，而输出功率是初级电流的函数。因此可以通过调节 VR 引脚的电压和分流电阻器来设定所需输出电流。但是，必须小心确保变压器不会因较高的初级电流进入饱和状态。此外，VR 引脚电压应保持在 3.7V 以下，以实现最大功率因数。

如何将开路保护模式改为锁存关断模式？

如果为输出开路保护选择了锁存关断模式，则可调节 R16 和/或 R17，从而可以先达到 OVP 阈值 ($V_{zcovp} = 3.7$ V)，再达到 Vcc 过压阈值 ($V_{vccovp} = 25$ V)。请注意，如果更改了 R16，电压折返校正将受影响，从而影响电源调节。在这种情况下，可以调节 R13 以实现更好的电源调节。

为什么我的应用中存在 LED 频闪？如何改进？

频闪可能是因 IC 自动重启或调光器导电相角不均匀造成的。对于自动重启的情况，ICL8002G 的 Vcc 电压应整个调光范围内保持在 V_{vccovp} 和 V_{vccoff} 之间。通过设计合适的变压器匝数比即可实现这一点，必要时为 Vcc 设计一个电压调节电路。对于调光器导电相角不均匀的情况，建议调节阻尼电路和泄放电路。

如何进一步提高效率？

可以通过减小阻尼电阻器 R1 和 R6，以及泄放电容器 C1 的值来提高效率。但是调光性能可能受影响。可以降低开关频率以实现最小开关损耗，这可能需要更大的变压器。输出电容器可以采用低 ESR 电容器，以提高效率。Q3 采用更高额定电流的 MOSFET，但这样不一定能提高效率，因为开关损耗可能在 MOSFET 的总功率损耗中占有很大比例。

如何改善功率因数和 THD?

减小 C1 和 C4 的电容值可能有助于增大功率因数并减小 THD。请注意，调光和 EMI 性能可能都会受影响。提高变压器的反射电压可能有助于改善功率因数。在最严峻的工作情况下，必须小心确保不会超过 MOSFET Q3 的击穿电压。

如何降低 BOM 成本?

对于低成本应用，可以去除 R5、R6、C2 和晶闸管 Q1 形成的主动阻尼电路。Q3 可以选择额定电压 600V 的 MOSFET，这需要为变压器设计更低的反射电压，因此功率因数可能减小。

11 参考资料

ICL8002G 数据手册，位于 www.infineon.com/ledoffline

ICL8001G/ICLS8082G 设计指南，位于 www.infineon.com/ledoffline

Infineon Light Desk，位于 www.infineon.com/lightdesk

BDTIC

BDTIC

www.infineon.com

由 Infineon Technologies AG 出版

www.BDTIC.com/infineon