设计范例报告

标题	*使用 **LYTSwitch™-1 LYT1403D** 的具备有源纹波滤器(**ARF**)的 **7 W** 非隔离降压式 **LED** 驱动器*
规格	190 VAC – 265 VAC; 39 V_{TYP}/180 mA_{TYP} 输出
应用	PAR30 LED 灯泡
作者	应用工程部
文档编号	DER-634
日期	2017 年 7 月 12 日
修订版本	1.0

特色概述

- 单级功率因数校正，在230 VAC下PF>0.9
- 精确的恒流调整率，精度为±5%
- 可满足<7%的闪烁要求
- 极高能效 - 对于42V LED负载，在230 VAC下效率>85%
- 元件数目少且成本低，可实现紧凑型PCB方案
- 集成诸多保护功能
  - 空载/开路负载输出保护
  - 输出短路保护
  - 过流保护
  - 热折返保护
  - 过温保护
  - 在输入电压跌落或缓升期间不会造成损坏
- 满足IEC 2.5 kV振铃波要求
- 满足500 V差模浪涌要求
- 满足EN55015传导EMI要求

Power Integrations
5245 Hellyer Avenue, San Jose, CA 95138 USA.
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.power.com

专利信息

此处介绍的产品和应用（包括产品之外的变压器结构和电路）可能包含一项或多项美国及国外专利，或正在申请的美国或国外专利。有关Power Integrations专利的完整列表，请参见www.powerint.com。Power Integrations按照在<http://www.powerint.com/ip.htm>中所述规定，向客户授予特定专利权利的许可。

目录

1 简介 5
2 电源规格 7
3 电路原理图 8
4 电路说明 9
4.1 输入级 9
4.2 EMI 滤波器 9
4.3 LYTSwitch-1 控制电路 9
4.4 有源纹波滤波器(ARF) 10
5 PCB 布局 12
6 物料清单(BOM) 13
7 电感规格 14
7.1 电气原理图 14
7.2 电气规格 14
7.3 材料列表 14
7.4 电感结构图 15
7.5 电感制作 15
7.6 绕制图示 16
8 电感设计表格 19
9 性能数据 21
9.1 效率 21
9.2 负载调整 22
9.3 功率因数 23
9.4 %ATHD 24
9.5 单个谐波含量 25
10 测试数据 26
10.1 测试数据，36 V LED 负载 26
10.2 测试数据，39 V LED 负载 26
10.3 测试数据，42 V LED 负载 26
10.4 测试数据，39 V LED 负载在 230 VAC 下的谐波含量 27
11 热性能 – 灯泡壳体内部 28
11.1 42 V LED 负载在 230 VAC 下的热性能，环境温度 25ºC 29
11.2 42 V LED 负载在 230 VAC 下的热性能，环境温度 40ºC 31
12 波形 33
12.1 输入电压和输入电流波形 33
12.2 启动特征 34
12.3 输出电流下降 36
12.4 正常工作时的漏极电压和电流 38
12.5 漏极电压和电流启动波形 40
12.6 输出短路时的漏极电压和电流 41

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

12.6.1 输出短路时的输入功率 41
12.7 正常工作时的输出二极管电压和电流 42
12.8 输出电压和电流 – 开路输出 LED 负载 43
12.9 输出电压和电流 – 开路输出负载启动 43
12.10 输出纹波电流（具备有源纹波滤波器） 44
13 交流电循环上电测试 45
14 传导 EMI 46
14.1 测试设置 46
14.1.1 使用的设备和负载 46
14.2 EMI 测试结果 47
15 输入浪涌 49
16 电压缓升/跌落测试 50
17 版本历史 51

重要说明：虽然本电路板的设计满足安全隔离要求，但工程原型尚未获得机构认证。因此，必须使用隔离变压器向原型板提供 AC 输入，以执行所有测试。

1 简介

本工程报告介绍的是一款低成本的低端降压式 LED 驱动器，它可以在 190 VAC 至 265 VAC 输入电压范围内为 39 V LED 灯串提供 180 mA 输出电流驱动。该 LED 驱动器采用 LYTSwitch-1 系列 IC 中的 LYT1403D 器件。其主要设计目标是实现高效率、精确的恒流调整率、无频闪和低元件数。

本文档包括电源规格、电路原理图、物料清单、变压器规格文件、印刷电路板布局、设计表格及设计性能数据。

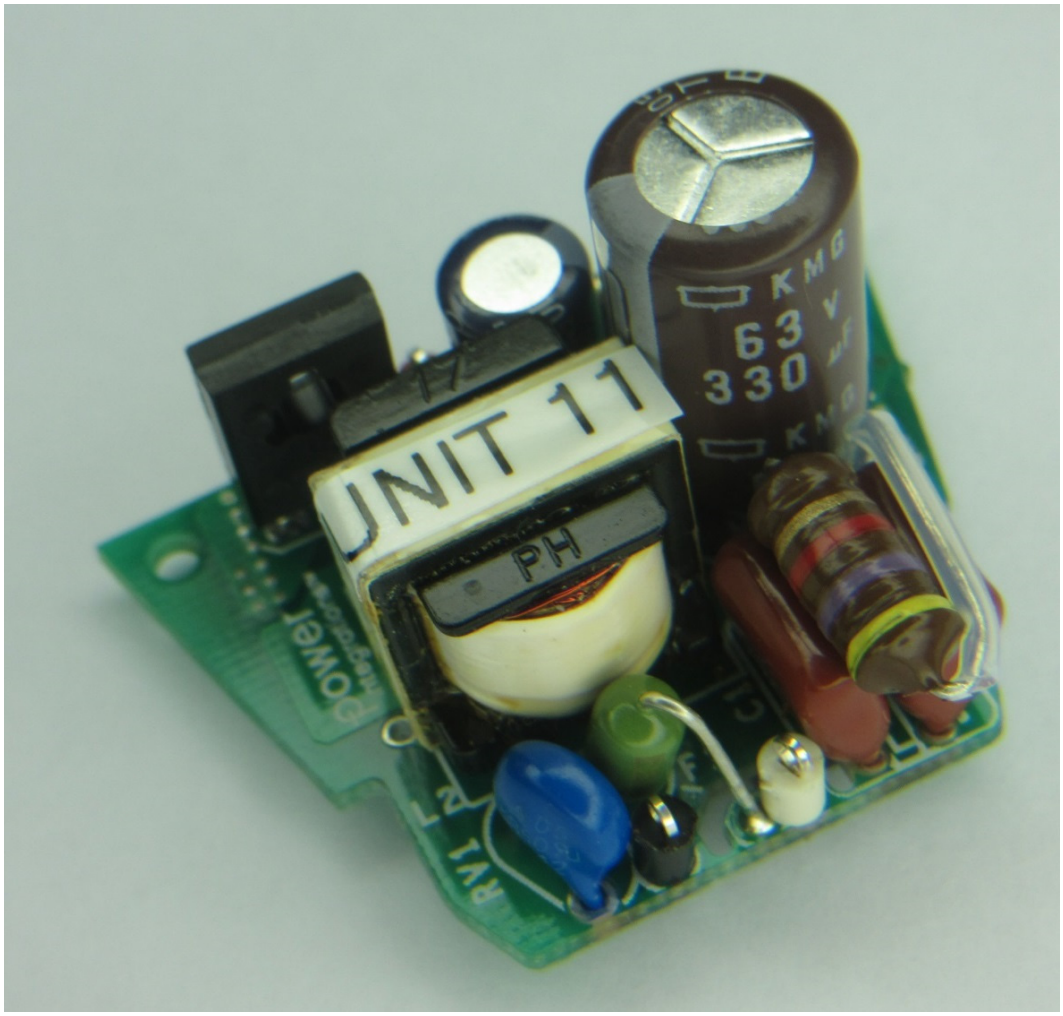


图 1 – 装配后的电路板

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

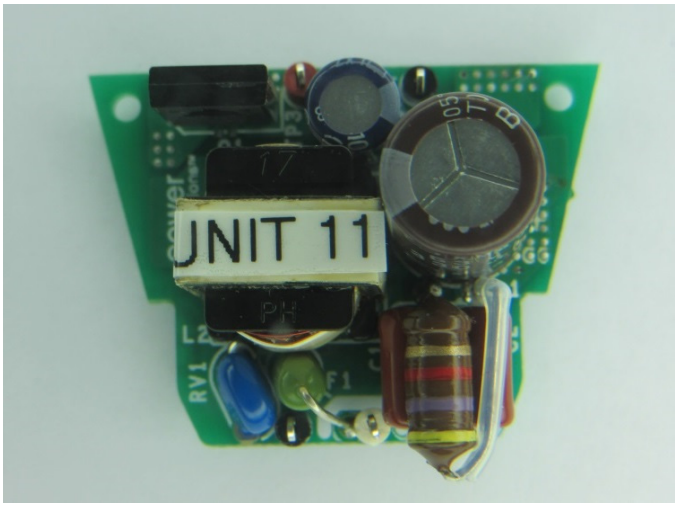


图 2 – 装配后的电路板，顶视图

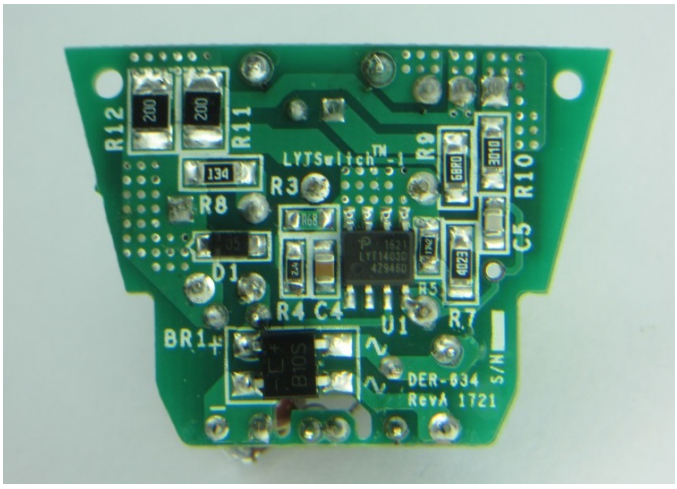


图 3 – 装配后的电路板，底视图

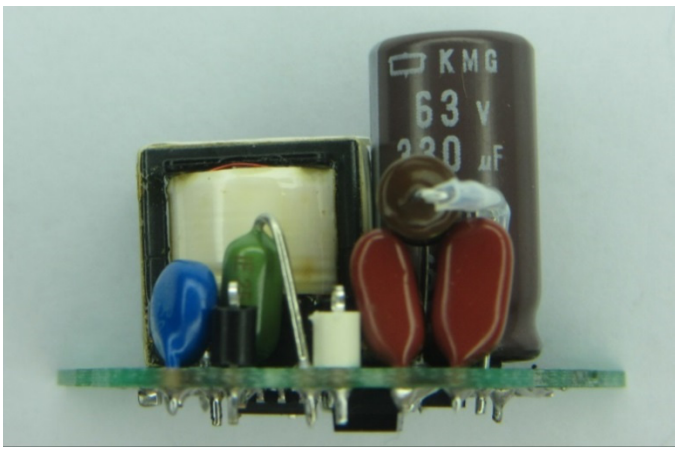


图 4 – 装配后的电路板，前视图

2 电源规格

下表所列为设计的最低可接受性能。实际性能可参考测量结果部分。

说明	符号	最小值	典型值	最大值	单位	备注
输入						
电压	V_{IN}	190	230	265	VAC	双导线 – 无 P.E.
频率	f_{LINE}		50		Hz	
输出						
输出电压	V_{OUT}		39		V	
输出电流	I_{OUT}		180		mA	
总输出功率						
连续输出功率	P_{OUT}		7		W	
效率						
满载	η		85		%	230 V/50 Hz，25ºC
环境						
传导 EMI			CISPR 15B/EN55015B			
安全			非隔离			
振铃波(100 kHz)			2.5		kV	
差模(L1-L2)			0.5		kV	
功率因数			0.90			在 230 VAC/ 50 Hz 下测得
环境温度	T_{AMB}			75	ºC	自然对流，海平面

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

3 电路原理图

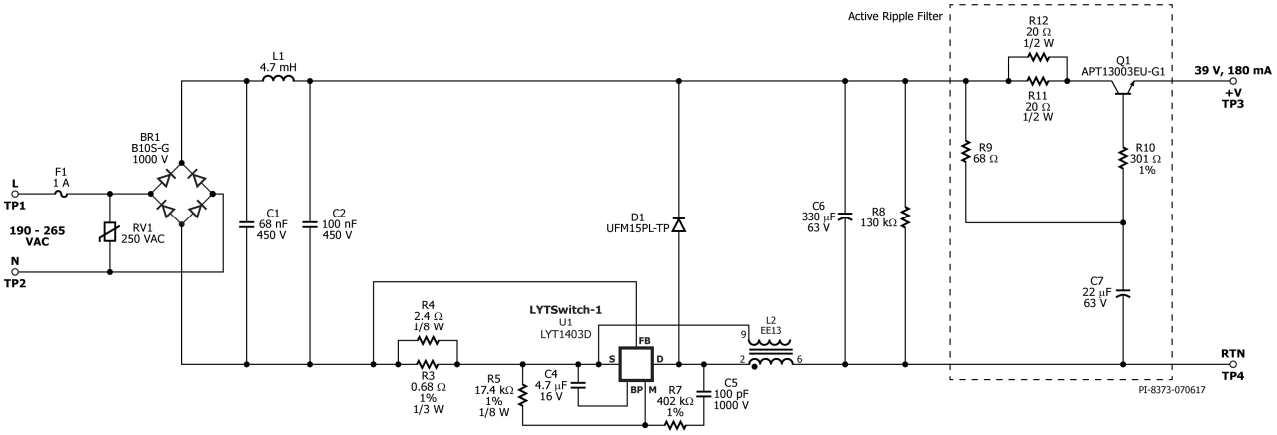


图 5 – 电路原理图

4 电路说明

LYTSwitch-1 系列 IC 中的 LYT1403D 器件在一个 SO-8 封装中集成了高压功率 MOSFET 和可变频率/可变导通时间临界导通模式控制器。LYT1403D 可为 39 V 低端降压式 LED 驱动器提供 180 mA 输出电流的驱动。

4.1 *输入级*

输入保险丝 F1（额定电流 1 A）提供安全保护。压敏电阻 RV1（额定电压 250 V）用作电压箝位，可限制输入级在雷击时的电压尖峰。全波桥式整流管 BR1 将输入交流电整流为脉冲直流，并且提供更高的功率因数和更低的总谐波失真。

4.2 *EMI 滤波器*

π型滤波器由差模扼流圈电感L1与输入滤波电容C1和C2构成。EMI滤波器与LYTSwitch-1的可变频率/可变导通时间临界导通模式控制引擎相结合，可确保设计符合EN55015 Class B干扰限值。所选择的值可在功率因数与效率之间取得平衡。

4.3 *LYTSwitch-1 控制电路*

LED 驱动器电路采用低端降压式拓扑。在功率 MOSFET 导通期间，流经电感 L2 的电流将增大，并将能量储存在其中。在功率 MOSFET 关断期间，电感中储存的能量通过续流二极管 D1 输送到输出负载。

输出电容 C6 用作滤波器，以减小输出电流纹波。选择合适的输出电容值，确保 LED 电流不超过特定的频闪值。频闪要求也可由有源纹波滤波器进行设置，以符合相应标准（参见第 4.4 节）。为避免在断电后出现较长的光输出鬼影效应，电阻 R8 作为假负载将输出电容的电压放电至低于 LED 电压。

电容 C4 为 U1 的旁路(BP)引脚提供局部去耦，并在开关导通期间为 IC 供电。在电源关断期间，IC 的内部稳压器从高压漏极(D)引脚吸收功率，为旁路电容 C4 充电。BP 引脚的典型电压约为 5.25 V。电容的值应足够大，以便在控制器以最大频率或以最大 T_{on} 开关时，BP 引脚电压始终高于复位值 $V_{BP\ (RESET)}$ ~4.6 V。

恒流输出调整通过电感强制峰值限流点来实现，并且器件的峰值电流持续时间与死区持续时间之间维持恒定的比值。 当功率 MOSFET 使用外部电流检测电阻 R3 和 R4 导通时，反馈(FB)引脚直接检测源极或电感电流。通过将检测电压与参考限流点阈值（V_{FBth} ≥ 0.28 V，I_{PK}=0.28 V/R_{SENSE}）进行比较，可以设置恒定的电感峰值电流 I_{PK} 。
多功能(M)引脚可检测交流输入过压。在功率 MOSFET 处于导通状态时，M 引脚内部连接至源极(S)引脚，并检测整流输入电压和从 M 引脚流出的电流（由 R7 设置）。

输入过压触发点(VLINE_OVP)可通过以下公式计算：

$$V_{LINE_OVP} = I_{IOV} \times R_7 + V_{OUT}$$

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

电阻 R7 设在 402 kΩ ±1%。一旦检测电流超过输入电压阈值（典型值为 I_{IOV} = 1 mA），IC 将立即抑制开关并激活自动重启动，为内部功率 MOSFET 和 LED 负载提供电压应力超限保护。

当功率 MOSFET 处于关断状态时，M 引脚还提供过零电流检测(ZCD)，并通过电阻 R5 和 R7 取样提供输出过压保护检测。ZCD 用于确保临界导通模式工作，因此 MOSFET 必须在电感消磁后立即导通。当电感电压随着续流二极管(D1)导通结束而开始快速降至零时，可检测到电感消磁。ZCD 阈值是指 M 引脚电压达到 V_M <0.25 V（触发下降沿）。

需要添加一个小容量电容 C5，用以将输出电压的高压参考信号通过电阻分压器网络 R5 和 R7 耦合至 IC 的 M 引脚。

过压保护检测还可以提供 R5 和 R7 实现。过压保护阈值通常设为稳态值(2.0 V)的 120%。电阻 R7 设为固定值 402 kΩ ±1%，以降低 MOSFET 导通期间的功耗。R_5 的值可根据以下公式计算。

$$R_5 = 2\ V \times R_7 / (V_{OUT} - 2\ V)$$

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 的自动重启动延迟。如果 SOA 故障在尝试两次 100 ms 自动重启动后仍然存在，延迟会增加大 1 s。

4.4 *有源纹波滤波器(ARF)*

电阻 R9 和电容 C7 对输出纹波提供滤波。将 R9/C7 网络的转折频率设定在线电压频率之下，以降低输出端上的 100 Hz 线电压频率纹波。电阻 R10 用于限制在输出短路期间流入晶体管的基极电流。

消除大纹波所带来的好处并非毫无代价。晶体管 Q1 在阻止输入端的交流输入线纹波的同时进行散热。散热量由即将被抑制的纹波量确定。为减小 Q1 的散热量，电阻 R11 和 R12 也可以耗散该纹波（由 Q1 阻断）至少 50%的热量。

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

5 PCB 布局

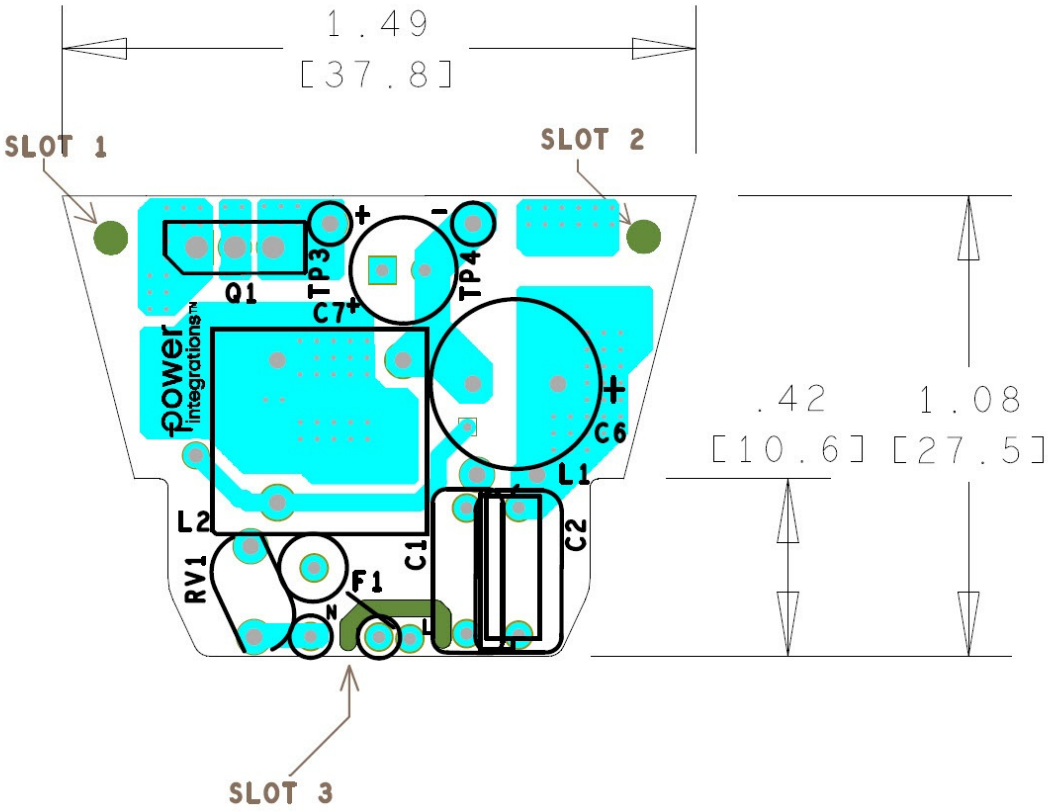


图 6 – 顶部

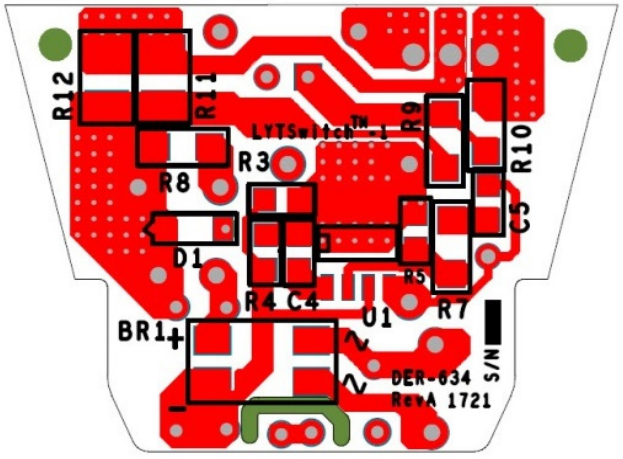


图 7 – 底部

6 物料清单(BOM)

项	数量	参考名称	说明	生产商型号	生产商
1	1	BR1	1000 V，0.8 A，桥式整流管，SMD，MBS-1，4-SOIC	B10S-G	Comchip
2	1	C1	68 nF，450 VDC，5%，薄膜	MEXXD26804JJ	Duratech
3	1	C2	100 nF，450 V，薄膜	MEXXD31004JJ1	Duratech
4	1	C4	4.7 μF，16 V，陶瓷，X7R，0805	GRM21BR71C475KA73L	Murata
5	1	C5	100 pF，1000 V，陶瓷，NPO，0805	C0805C101MDGACTU	Kemet
6	1	C6	330 μF，63 V，电解，(10 x 20)	EKMG630ELL331MJ20S	United Chemi-con
7	1	C7	22 μF，63 V，电解，低 ESR，1000 mΩ，(6.3 x 11.5)	ELXZ630ELL220MFB5D	Nippon Chemi-Con
8	1	D1	600 V，1 A，超快速恢复，75 ns，SOD-123	UFM15PL-TP	Micro Commercial
9	1	F1	保险丝，PICO，快速，1 A 250 V，轴向	0263001.MXL	Littlefuse
10	1	L1	4.7 mH，90 mA，20 Ω, RF 电感	B82144A2475J	Epcos
11	1	L2	骨架，EE13，垂直，10 引脚	P-1302-2	Pin Shine
12	1	Q1	NPN，450V，1.3 A，TO126	APT13003EU-G1DI-ND	Diodes, Inc.
13	1	R3	RES，0.68 Ω 1/3 W，1%，厚膜，0805	RL1220S-R68-F	Susumu
14	1	R4	RES, 2.4 Ω，5%，1/8 W，厚膜，0805	ERJ-6GEYJ2R4V	Panasonic
15	1	R5	RES, 17.4 kΩ，1%，1/8 W，厚膜，0805	ERJ-6ENF1742V	Panasonic
16	1	R7	RES, 402 kΩ，1%，1/4 W，厚膜，1206	ERJ-8ENF4023V	Panasonic
17	1	R8	RES, 130 kΩ，5%，1/4 W，厚膜，1206	ERJ-8GEYJ134V	Panasonic
18	1	R9	RES，68 Ω，5%，1/4 W，厚膜，1206	ERJ-8GEYJ680V	Panasonic
19	1	R10	RES，301 Ω，1%，1/4 W，厚膜，1206	ERJ-8ENF3010V	Panasonic
20	2	R11 R12	RES，20 Ω，±5%，0.5 W，½ W，1210（3225 金属），Automotive AEC-Q200，厚膜	CRCW121020R0JNEA	Vishay
21	1	RV1	390 VAC，8.2 J，5 mm，径向	S05K250	Epcos
22	1	U1	LYTSwitch-1，宽范围，8 W，25 V – 50 V，SO-8	LYT1403	Power Integrations

其他

项	数量	参考名称	说明	生产商型号	生产商
1	1	TP1	测试点，白色，微型直插式安装	5002	Keystone
2	1	TP2 TP4	测试点，黑色，微型直插式安装	5001	Keystone
3	2	TP3	测试点，红色，微型直插式安装	5000	Keystone
4	1	INSULATION1	管和套管 – 非热缩，#20 AWG TUBING PTFE	TFT20 – NT	Parker/Texloc (Atlantic Tubing)

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

7 电感规格

7.1 *电气原理图*

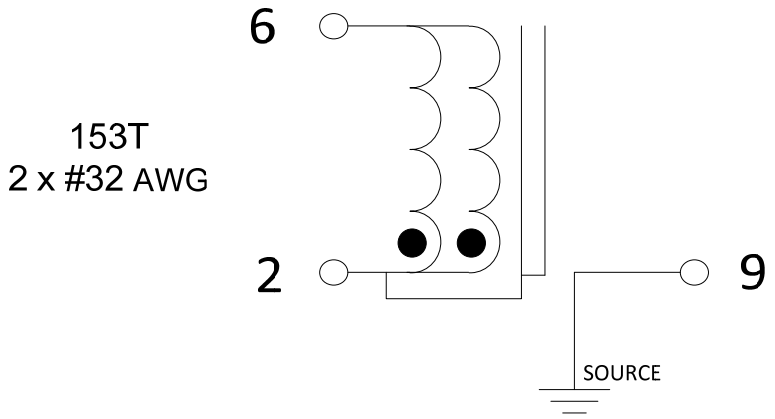


图 8 –电感电气原理图

7.2 *电气规格*

参数	条件	规格
标称初级电感量	在 1 V_{PK-PK}、100 kHz 开关频率、引脚 2 和引脚 6 之间的情况下测量	1350 μH
公差	初级电感量容差	±10%

7.3 *材料列表*

项	说明
[1]	磁芯：EE13
[2]	骨架：EE13，垂直，10 引脚
[3]	漆包线：#32 AWG
[4]	变压器胶带：7.9 mm
[5]	变压器胶带：5.5 mm

7.4 *电感结构图*

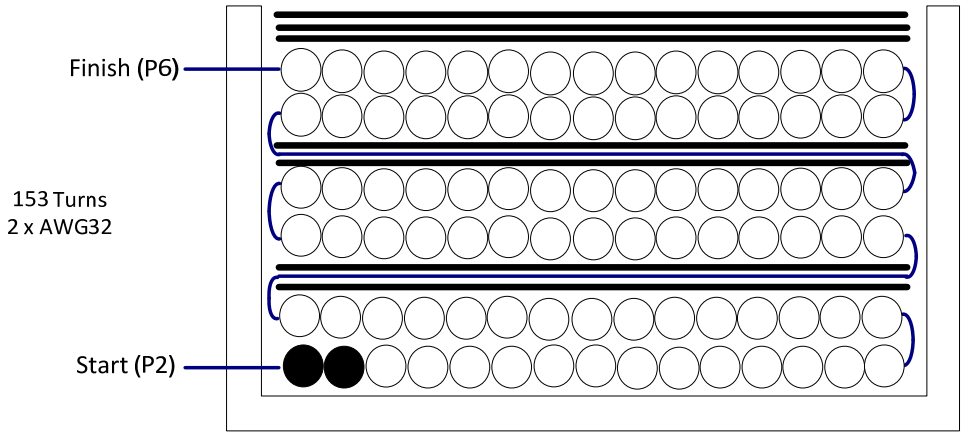


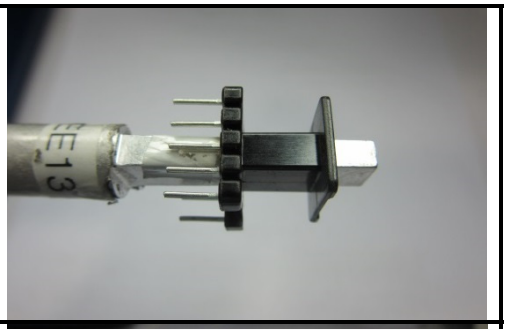
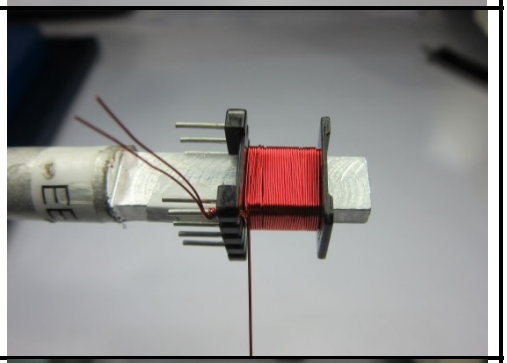
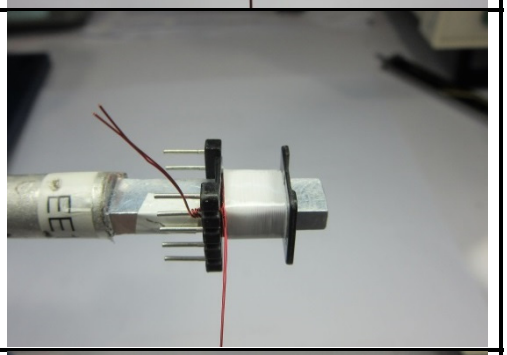
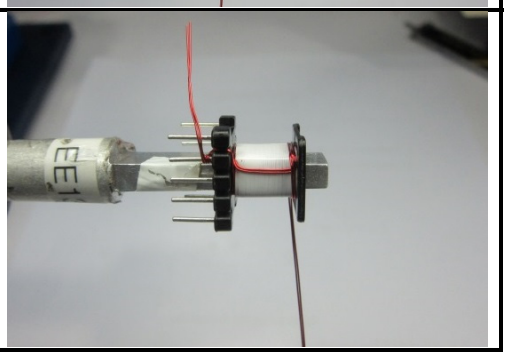
图 9 –电感结构图

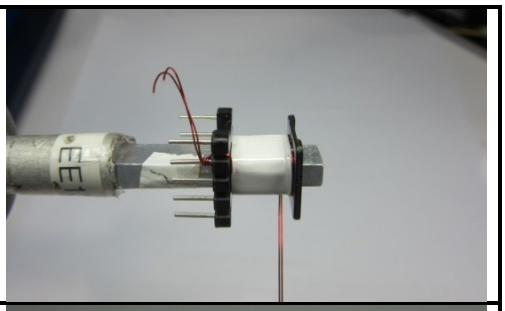
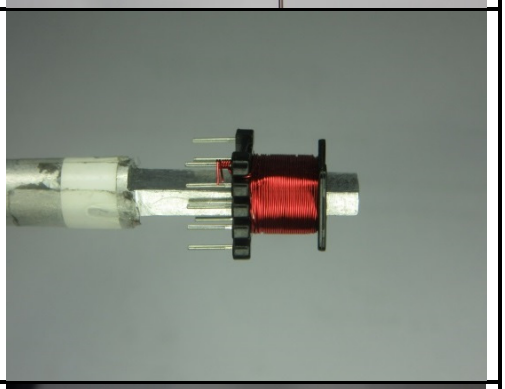
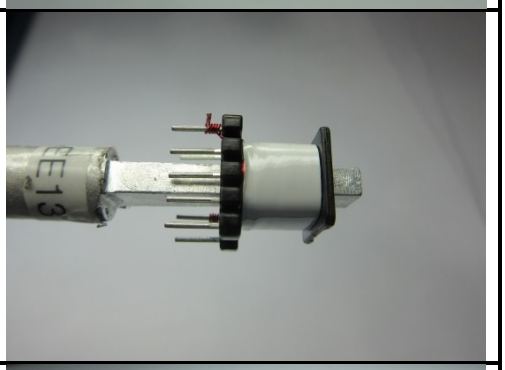
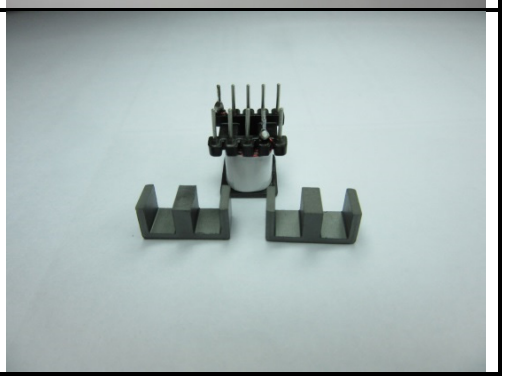
7.5 *电感制作*

绕制方向	骨架（项[2]）在卷绕器夹具上的方向均为端子引脚 1-5 位于左侧。绕制方向为逆时针。
绕制 1	使用两股并绕线（项[3]），也即双绕线圈，从引脚 2 开始，占满骨架宽度缠绕 2 层。
绝缘	添加 1 层胶带（项[4]）进行绝缘。
Z 型绕法 1	将导线直接引到骨架另一端，继续 Z 型绕制。
绝缘	添加 1 层胶带（项[4]）进行绝缘。
绕制 2	重复 2 层绕制和 Z 型绕制，并进行绝缘，直到缠绕 153 圈。在最后一层上，使绕线均匀分布在整个骨架上。在引脚 6 结束绕制。
绝缘	添加 2 层胶带（项[4]）进行绝缘。
磁芯打磨	打磨一个磁芯（项[1]）的中心柱，直至达到 1350 µH 标称电感量。
装配磁芯	将 2 个磁芯装配到骨架上，缠 3 层胶带（项[5]）。
引脚	拉出端子 1、3、4、5、7、8 和 10。引脚 9 连接至源极引脚。
结束	将变压器浸入清漆中。

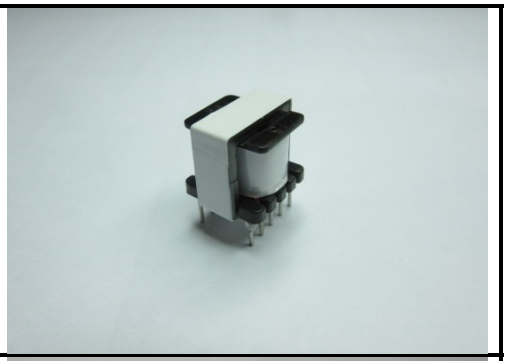
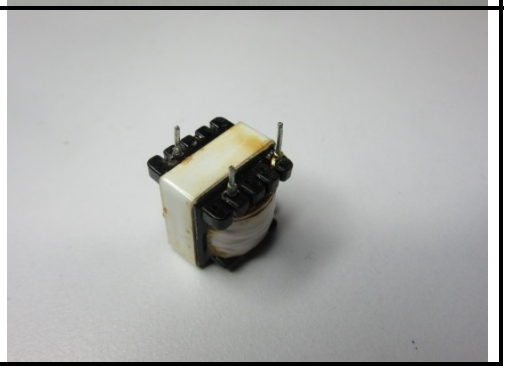
Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

7.6 *绕制图示*

绕制方向	骨架（项[2]）在卷绕器夹具上的方向均为端子引脚 1-5 位于左侧。绕制方向为逆时针。	
绕制 1	使用两股并绕线（项[3]），也即双绕线圈，从引脚 2 开始，占满骨架宽度缠绕 2 层。	
绝缘	添加 1 层胶带（项[4]）进行绝缘。	
Z 型绕法 1	将导线直接引到骨架另一端，继续 Z 型绕制。	

绝缘	添加 1 层胶带（项[4]）进行绝缘。	
绕制 2	重复 2 层绕制和 Z 型绕制，并进行绝缘，直到缠绕 153 圈。在最后一层上，使绕线均匀分布在整个骨架上。在引脚 6 结束绕制。	
绝缘	添加 2 层胶带（项[4]）进行绝缘。	
磁芯打磨	打磨一个磁芯（项[1]）的中心柱，直至达到 1350 µH 标称电感量。	

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

装配磁芯	将 2 个磁芯装配到骨架上，缠 3 层胶带（项 [5]）。	
引脚	拉出端子 1、3、4、5、7、8 和 10。引脚 9 连接至源极引脚。	
结束	将变压器浸入清漆中。	

8 电感设计表格

ACDC_LYTSwitch1_Buck_020317;修订版 1.1；版权所有 Power Integrations 2017	输入	信息	输出	单位	LYTSwitch-1 降压式设计表格
输入应用变量					
输入电压范围			高压输入		交流输入电压范围
VACMIN	**190**		190	V	最小交流输入电压
VACTYP	**230**		230	V	典型交流输入电压
VACMAX	**265**		265	V	最大交流输入电压
FL			50	Hz	AC 电网频率
VO	**39**		39	V	输出电压
IO	**180**		180	mA	平均输出电流规格
效率			0.90		效率估计值
PO			7.02	W	连续输出功率
VD			0.70	V	输出二极管正向电压降
优化参数	**BOM**		BOM		BOM 选择峰值电流最小的 IC。THD 选择 IC 以获得最低 THD。
输入 LYTSWITCH-1 变量					
器件击穿电压			725	V	此设计表格仅支持 725V 器件
器件	**自动**		LYT1403D		实际的 LYTSwitch-1 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			3	us	在 VACTYP 下处于固定导通区域的导通时间
FSW			47	kHz	在 VACTYP 下处于固定电流限流点区域的最大开关频率
DMAX			0.71		处于固定导通时间区域的可能的最大占空比
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，则在此输入元件编号
AE			17.10	mm^2	磁芯等效截面积
LE			30.20	mm	磁芯等效路径长度
AL			1130.00	nH/匝^2	无气隙磁芯等效电感量
AW			21.28	mm^2	骨架窗口面积
BW			7.40	mm	骨架绕组宽度
层数			6.0		层数
电感设计参数					
LP_MIN			610	uH	绝对最小设计电感
LP_TYP	**1350**		1350	uH	典型设计电感
LP_TOLERANCE			10	%	设计电感的公差
LP_MAX			8810	uH	绝对最大设计电感
圈数	**153**		153	圈数	电感圈数
ALG			57.67	nH/匝^2	每平方圈数的电感量
BMAX			3678	高斯	固定峰值电流区域的实际饱和磁通密度
BAC			1850	高斯	固定峰值电流区域的交流饱和磁通密度
LG			0.354	mm	磁芯气隙
BWE			44.4	mm	等效骨架宽度
OD			0.29	mm	导线带绝缘层的外径
INS			0.05	mm	导线绝缘层
DIA			0.24	mm	导线不带绝缘层的外径
AWG			31		裸线的 AWG 线规
CM			81	Cmil	裸线圆密耳
CMA			345	Cmil/A	每安培裸线圆密耳
电流密度			3.5	A/ mm^2	裸线电流密度
骨架填充系数			60.56%		导线占据骨架的面积

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

电流波形参数					
IAVERAGE_INDUCTOR			0.18	A	在 VACTYP 下从工频半周期仿真获得的平均电感电流
IPEAK_MOSFET			0.54	A	在 VACTYP 下处于电流限流点区域的 MOSFET 峰值电流
IRMS_MOSFET			0.09	A	在 VACTYP 下从工频半周期仿真获得的 MOSFET RMS 电流
IRMS_DIODE			0.22	A	在 VACTYP 下从工频半周期仿真获得的二极管 RMS 电流
IRMS_INDUCTOR			0.23	A	在 VACTYP 下从工频半周期仿真获得的电感 RMS 电流
LYTSWITCH 外部元件					
FB 引脚电阻					
RFB_T			0.519	Ohms	反馈引脚检测电阻的理论计算值
RFB			0.523	Ohms	反馈引脚检测电阻的 1%值
M 引脚元件					
BUCK_CONFIG	**低端降压**				降压拓扑结构的开关配置
RUPPER			402	kOhms	M 引脚分压器网络的上电阻(E96 / 1%)
RLOWER	**17.4**		17.8	kOhms	M 引脚分压器网络的下电阻(E96 / 1%)
VO_OVP		Info1	55.9	V	!!Info1。VO_OVP 为 1.44 * VO。
Line_OVP			441	V	输入过压阈值
CC			100	pF	用于低端降压配置的耦合电容
RPRELOAD			39	kOhms	最小输出假负载电阻
CBP			4.7	uF	BP 电容
电压应力参数					
VDRAIN			375	V	最差情况下的估计漏极电压
PIVD			375	V	输出整流管最大反向峰值电压

注：输出过压在输出短路测试中监测。所选取的输出电容额定值可在短路时耐受此电压。

9 性能数据

所有测量均在室温下使用 36 V、39 V 和 42 V LED 负载进行。测量前连续工作 1 分钟，每次进行后续输入线测量时交流电源供应器关断 5 秒钟。

9.1 *效率*

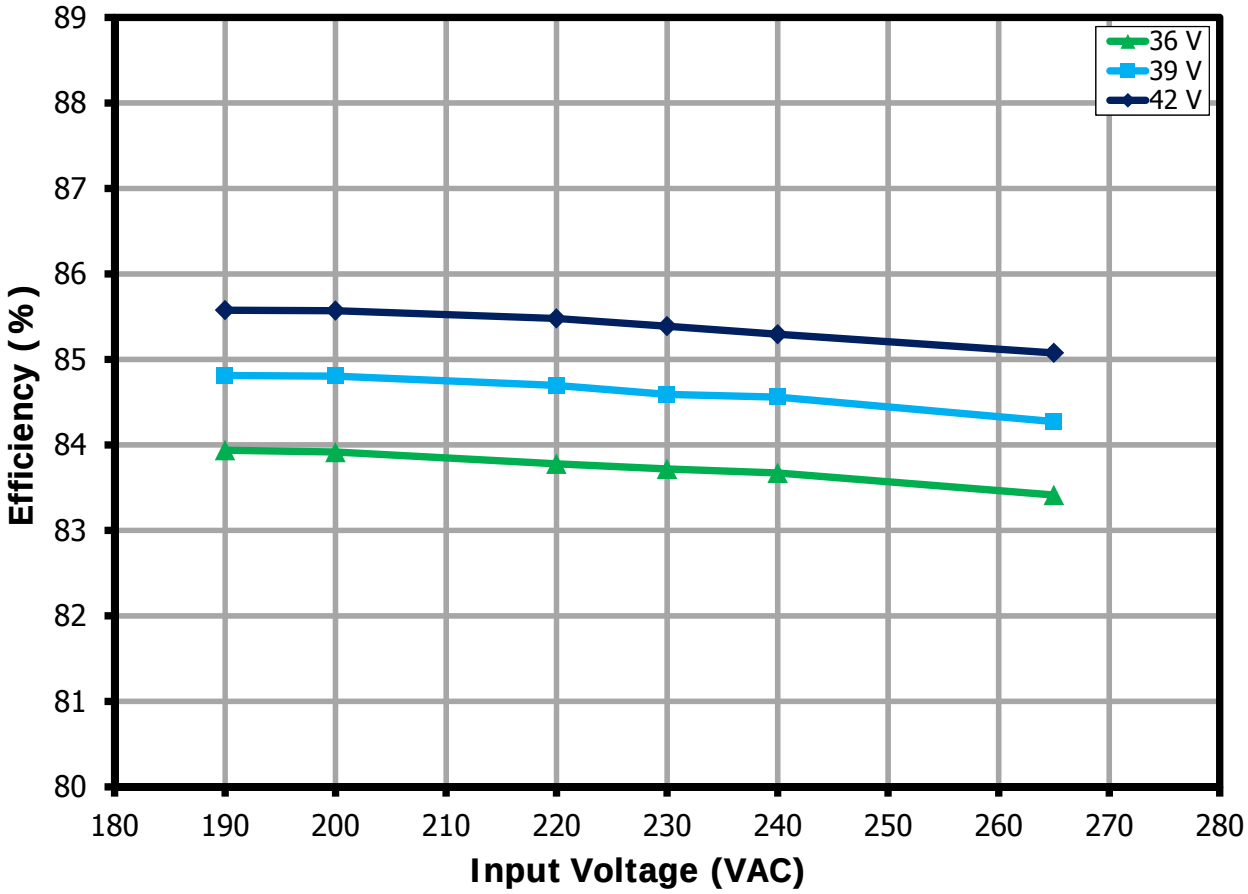


图 10 – 效率相对于输入电压的变化

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

9.2 *负载调整*

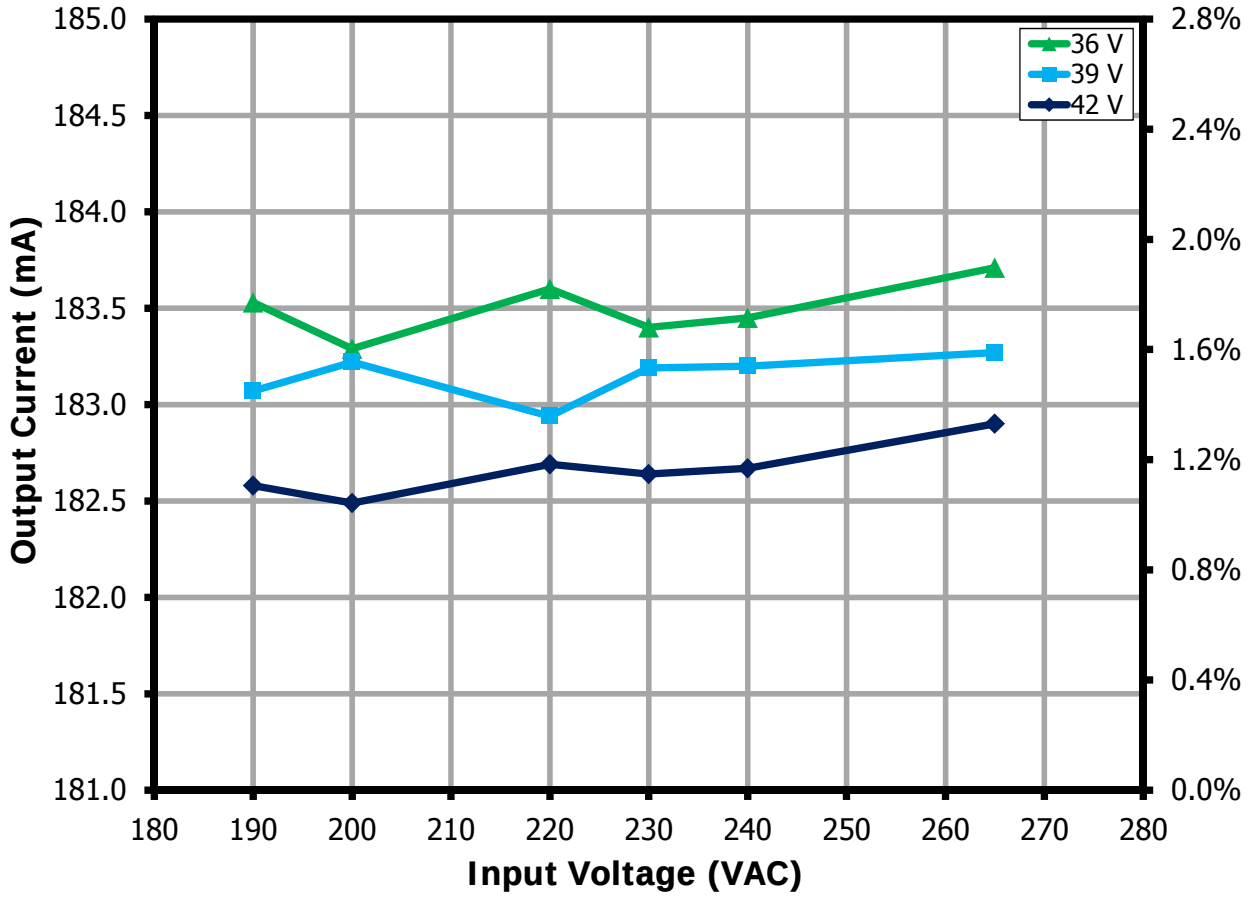


图 11 – 调整率相对于输入电压的变化

9.3 *功率因数*

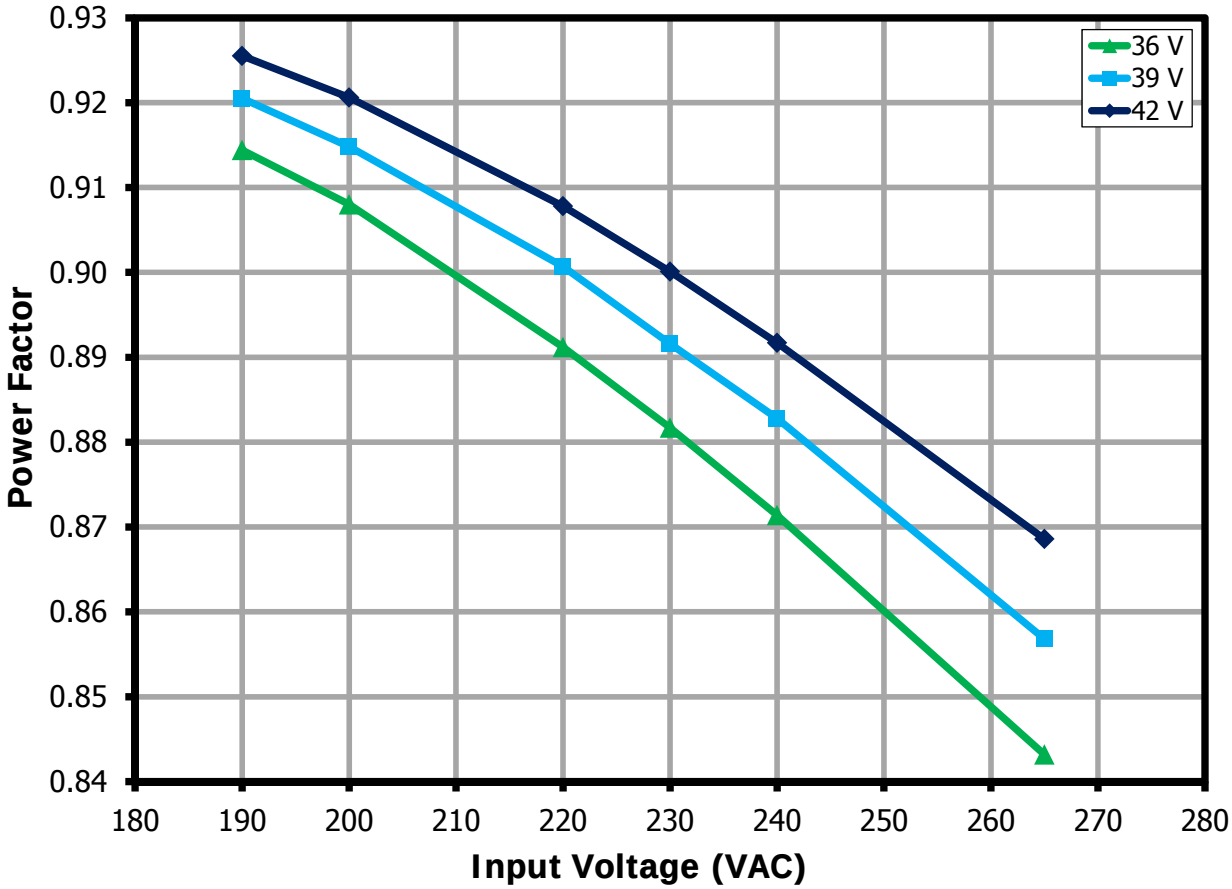


图 12 – 功率因数相对于输入电压的变化

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

9.4 *%ATHD*

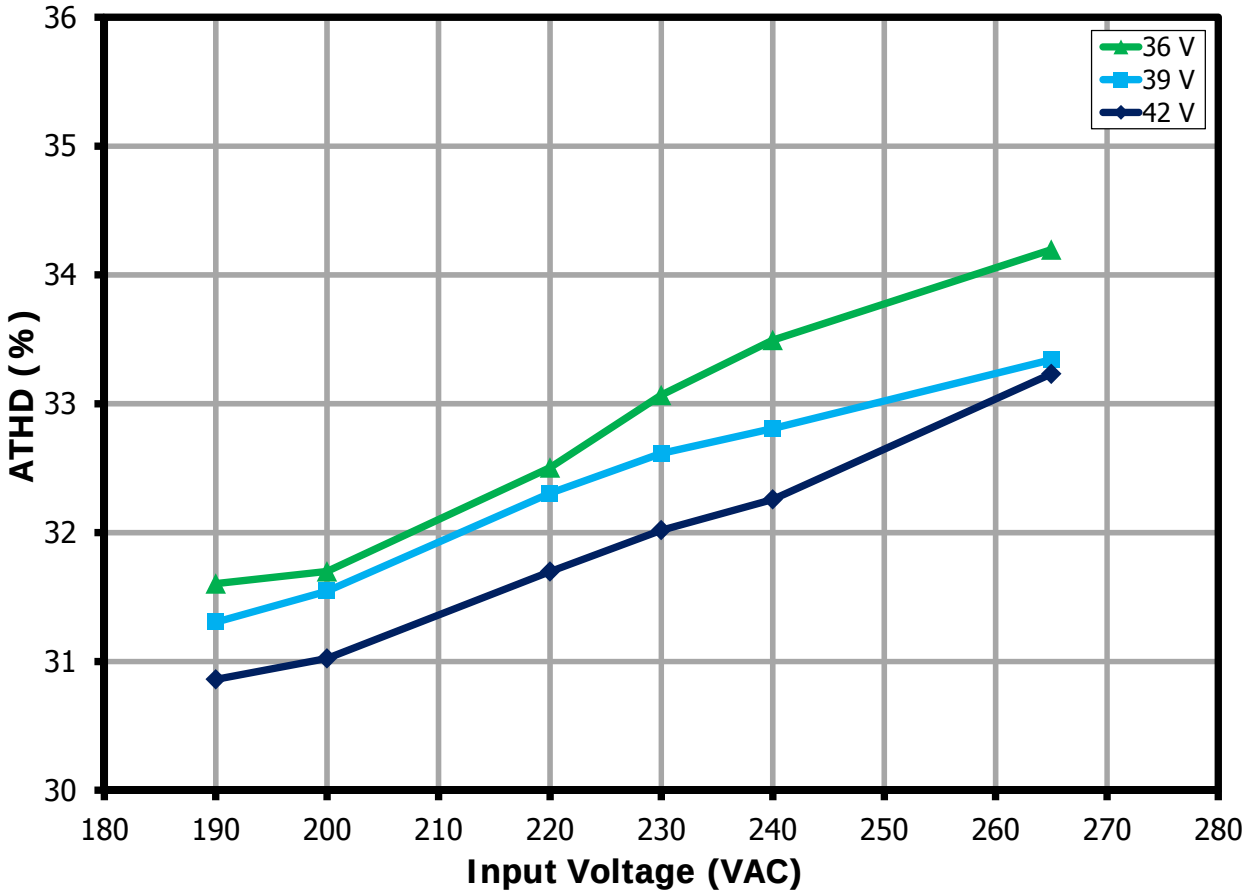


图 13 – %ATHD 相对于输入电压的变化

9.5 *单个谐波含量*

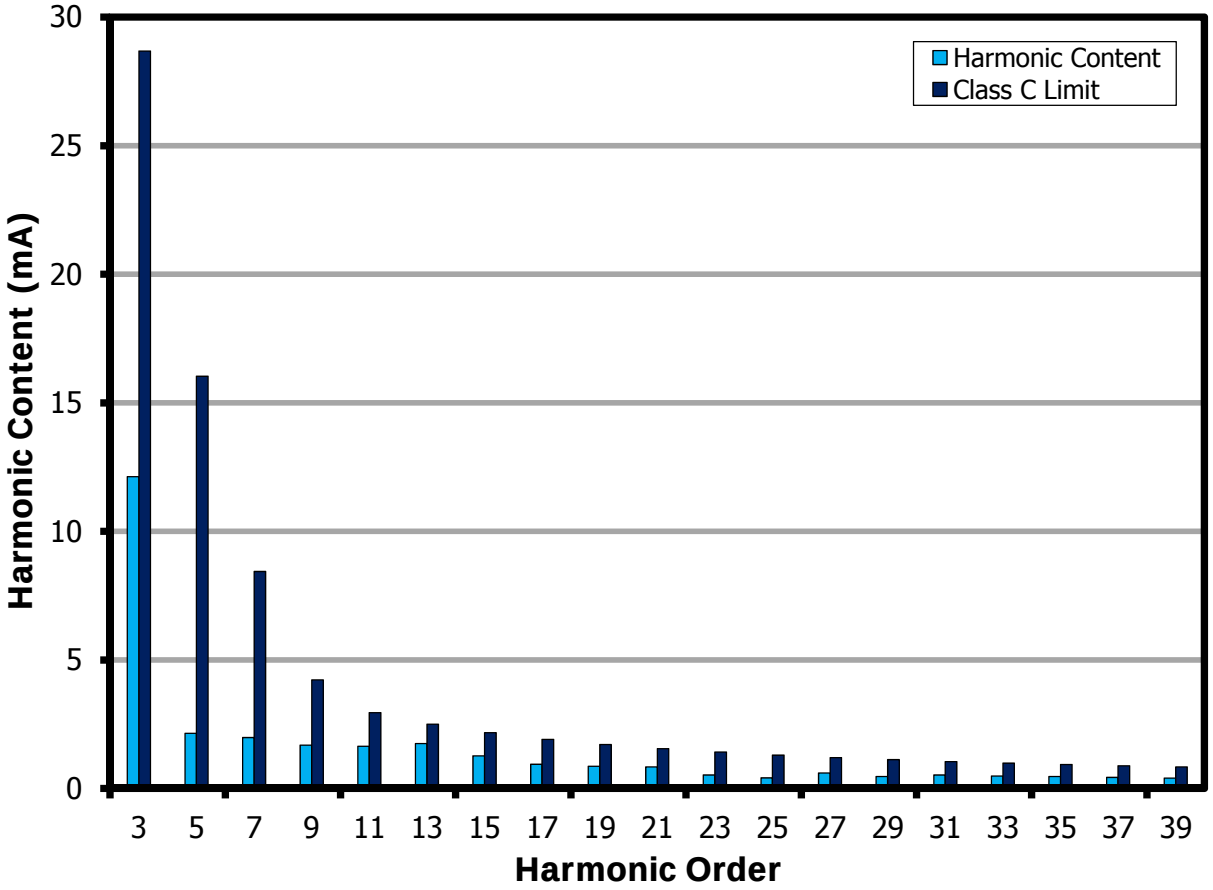


图 14 – 39 V LED 负载在 230 VAC/50 Hz 下的输入电流谐波

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.power.com

10 测试数据

10.1 *测试数据，36 V LED 负载*

输入		输入测量					LED 负载测量			效率 (%)
VAC (V_{RMS})	频率 (Hz)	V_{IN} (V_{RMS})	I_{IN} (mA_{RMS})	P_{IN} (W)	PF	%ATHD	V_{OUT} (V_{DC})	I_{OUT} (mA_{DC})	P_{OUT} (W)	
190	50	189.98	45.01	7.82	0.91	31.61	35.75	183.53	6.56	83.94
200	50	199.99	43.06	7.82	0.91	31.70	35.79	183.29	6.56	83.92
220	50	220.03	40.00	7.84	0.89	32.51	35.79	183.60	6.57	83.78
230	50	230.05	38.65	7.84	0.88	33.07	35.77	183.40	6.56	83.72
240	50	239.99	37.50	7.84	0.87	33.49	35.77	183.45	6.56	83.67

10.2 *测试数据，39 V LED 负载*

输入		输入测量					LED 负载测量			效率 (%)
VAC (V_{RMS})	频率 (Hz)	V_{IN} (V_{RMS})	I_{IN} (mA_{RMS})	P_{IN} (W)	PF	%ATHD	V_{OUT} (V_{DC})	I_{OUT} (mA_{DC})	P_{OUT} (W)	
190	50	189.97	48.08	8.41	0.92	31.31	38.94	183.07	7.13	84.81
200	50	199.99	46.04	8.42	0.91	31.55	38.98	183.22	7.14	84.80
220	50	220.03	42.47	8.42	0.90	32.31	38.95	182.94	7.13	84.70
230	50	230.05	41.13	8.44	0.89	32.62	38.95	183.19	7.14	84.59
240	50	239.99	39.83	8.44	0.88	32.81	38.95	183.20	7.14	84.56

10.3 *测试数据，42 V LED 负载*

输入		输入测量					LED 负载测量			效率 (%)
VAC (V_{RMS})	频率 (Hz)	V_{IN} (V_{RMS})	I_{IN} (mA_{RMS})	P_{IN} (W)	PF	%ATHD	V_{OUT} (V_{DC})	I_{OUT} (mA_{DC})	P_{OUT} (W)	
190	50	189.98	50.95	8.96	0.93	30.86	41.98	182.58	7.67	85.58
200	50	199.99	48.67	8.96	0.92	31.02	42.02	182.49	7.67	85.57
220	50	220.03	44.96	8.98	0.91	31.70	42.01	182.69	7.68	85.48
230	50	230.05	43.40	8.99	0.90	32.02	42.01	182.64	7.67	85.39
240	50	239.99	42.04	9.00	0.89	32.26	42.00	182.67	7.67	85.30

10.4 *测试数据，**39 V LED** 负载在 **230 VAC** 下的谐波含量*

V	频率	I (mA_{RMS})	P	PF	%THD
230	50.00	41.13	8.4370	0.8916	32.615
n 阶	mA 含量	% 含量	限值 <25 W	限值 >25 W	备注
1	37.96				
2	0.06	0.16%		2.00%	
3	12.13	31.96%	28.6858	26.75%	通过
5	2.15	5.66%	16.0303	10.00%	通过
7	1.98	5.21%	8.4370	7.00%	通过
9	1.68	4.43%	4.2185	5.00%	通过
11	1.64	4.32%	2.9530	3.00%	通过
13	1.74	4.59%	2.4987	3.00%	通过
15	1.27	3.33%	2.1655	3.00%	通过
17	0.94	2.48%	1.9107	3.00%	通过
19	0.86	2.27%	1.7096	3.00%	通过
21	0.83	2.19%	1.5468	3.00%	通过
23	0.53	1.39%	1.4123	3.00%	通过
25	0.41	1.09%	1.2993	3.00%	通过
27	0.60	1.59%	1.2031	3.00%	通过
29	0.46	1.22%	1.1201	3.00%	通过
31	0.52	1.37%	1.0478	3.00%	通过
33	0.48	1.27%	0.9843	3.00%	通过
35	0.46	1.22%	0.9281	3.00%	通过
37	0.43	1.13%	0.8779	3.00%	通过
39	0.40	1.06%	0.8329	3.00%	通过

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

11 热性能 – 灯泡壳体内部

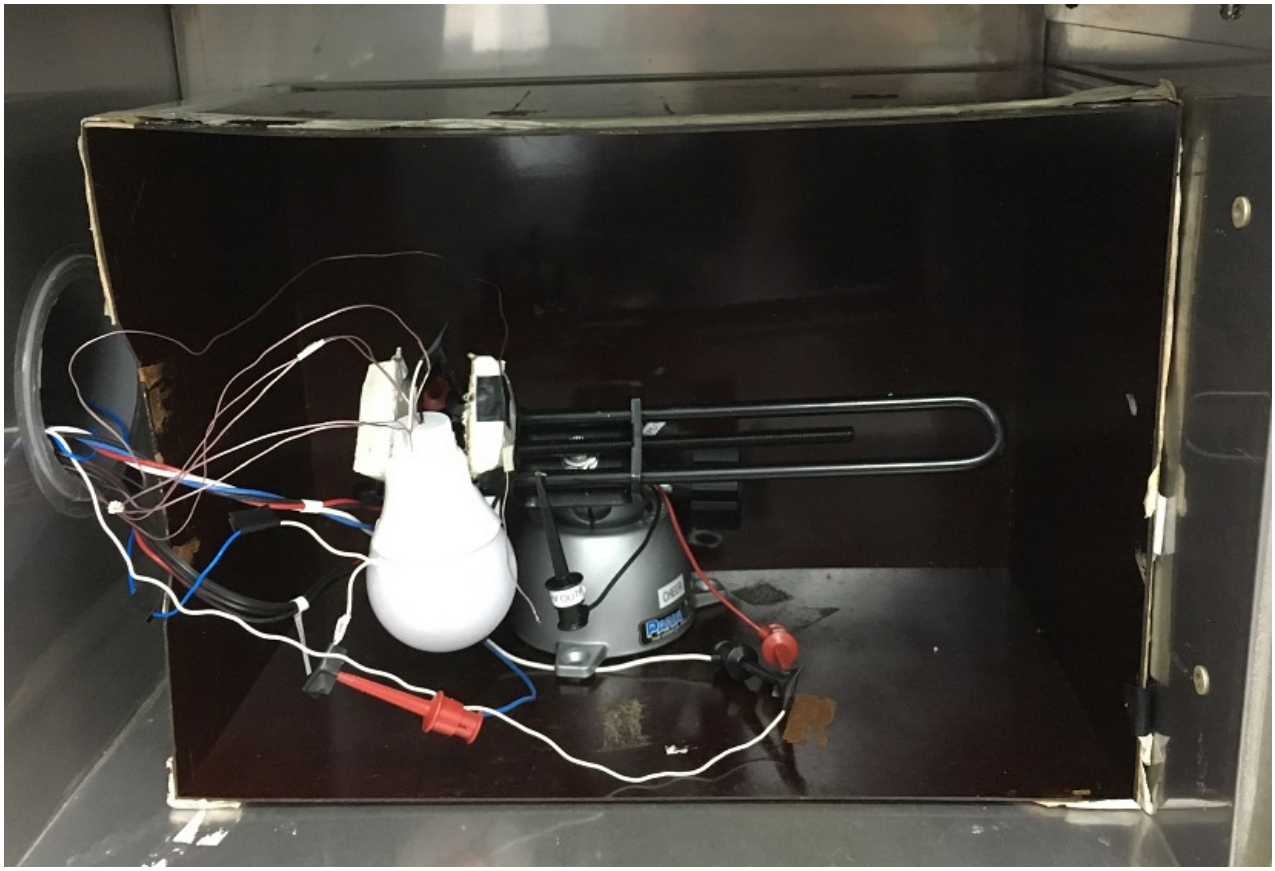


图 15 – 测试箱内的热测试设置

灯泡放在壳体内部，防止气流影响热测量。壳体内的环境温度为 25ºC，在 230 VAC 下将近连续工作 1 小时后达到 40ºC。使用 T 型热电偶进行温度测量。

11.1 *42 V LED 负载在 230 VAC 下的热性能，环境温度 25°C*

参考	最大值(°C)	最终值(°C)
环境温度（壳体内部）	37.3	37.0
U1	121.9	121.9
R11	129.2	126.9
Q1	134.3	134.1
L2	124.9	123.4
内部（灯泡壳体内部）	104.9	104.1
I_{OUT}(mA)	185.3	182.8

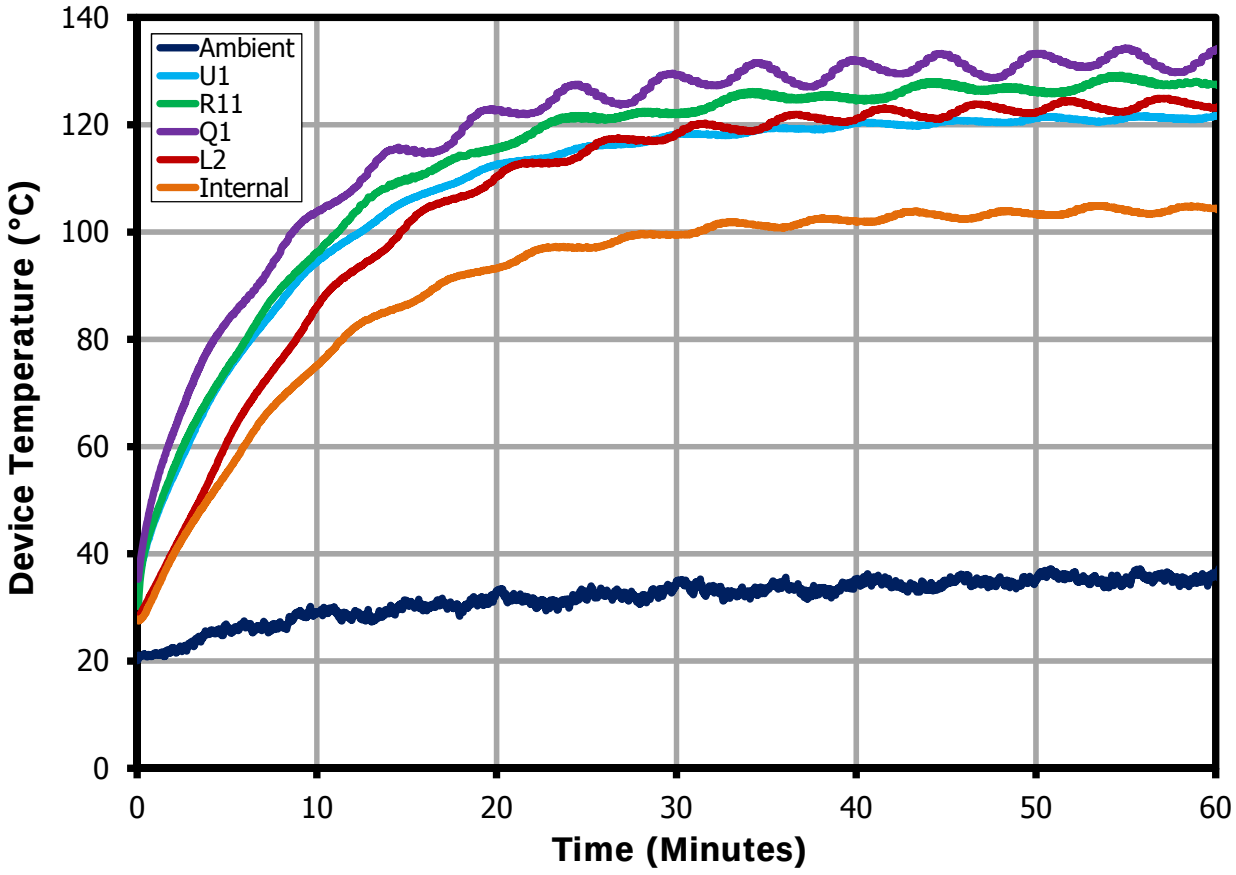


图 16 – 在 230 VAC 下的元件温度，使用 42 V LED 负载，环境温度 25ºC

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

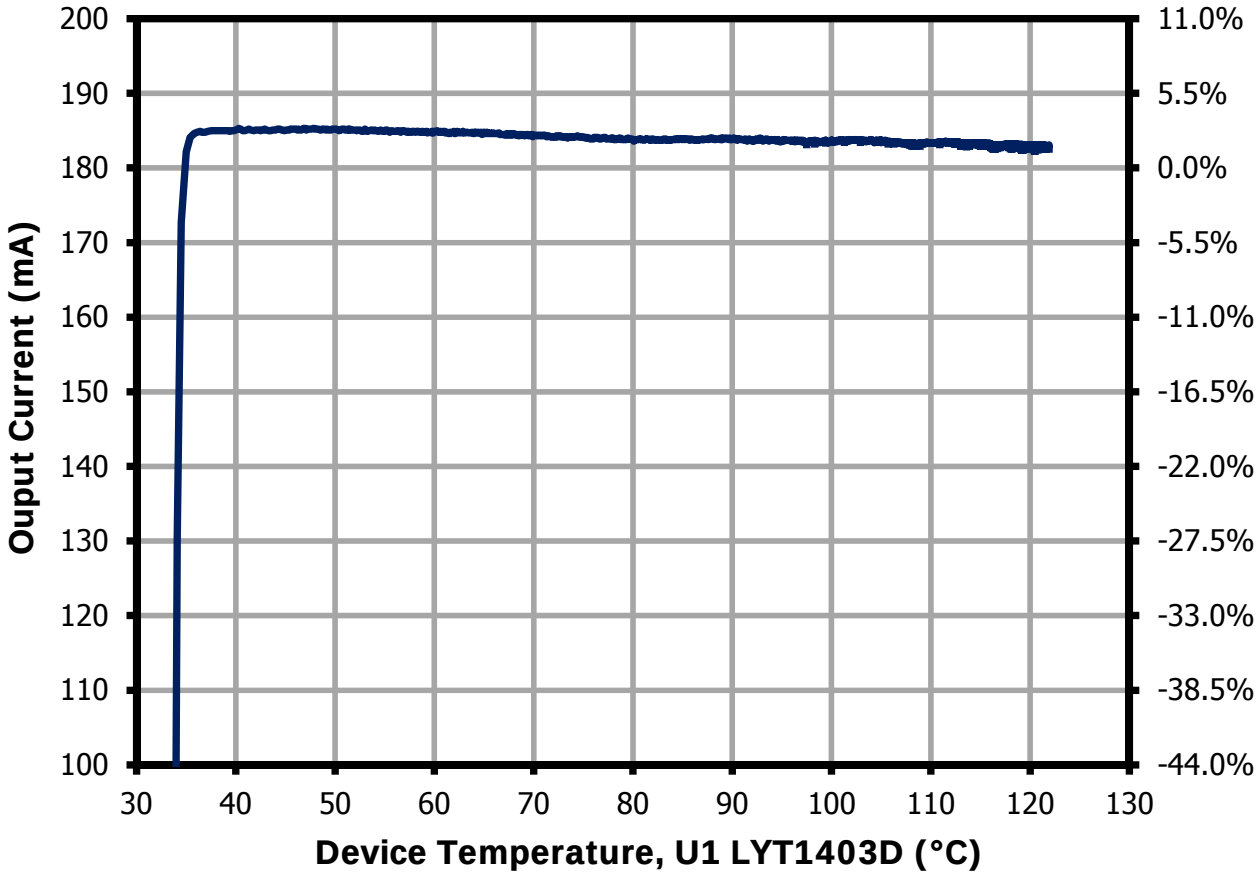


图 17 – 输出电流相对于器件温度(LYT1403D)的变化，230 VAC，环境温度 25ºC

11.2 *42 V LED 负载在 230 VAC 下的热性能，环境温度 40°C*

参考	最大值(°C)	最终值(°C)
环境温度（壳体内部）	51.6	50.2
U1	129.7	129.4
R11	142.9	140.5
Q1	147.4	144.7
L2	138.7	138.4
内部（灯泡壳体内部）	117.0	116.5
I_{OUT}(mA)	185.8	181.5

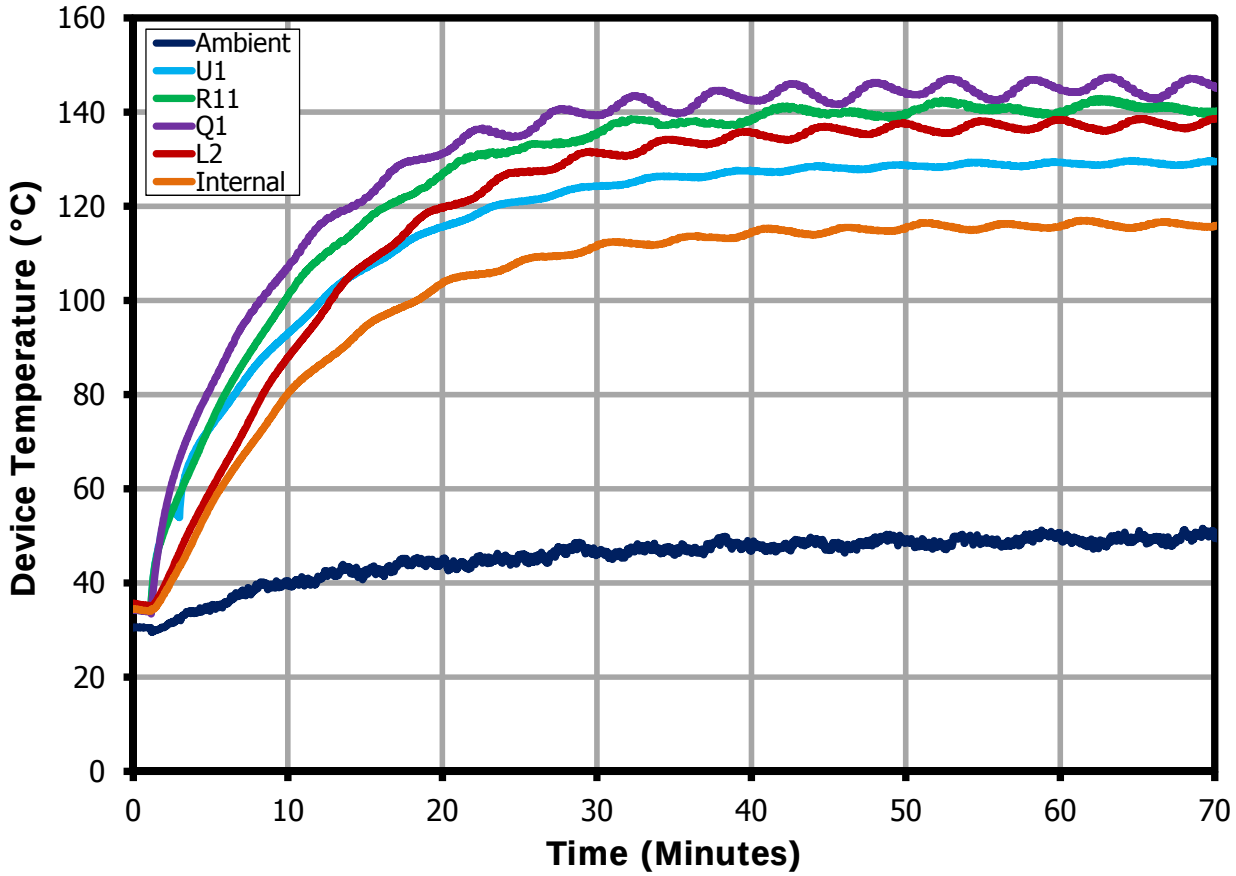


图 18 – 在 230 VAC 下的元件温度，使用 42 V LED 负载，环境温度 40ºC

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

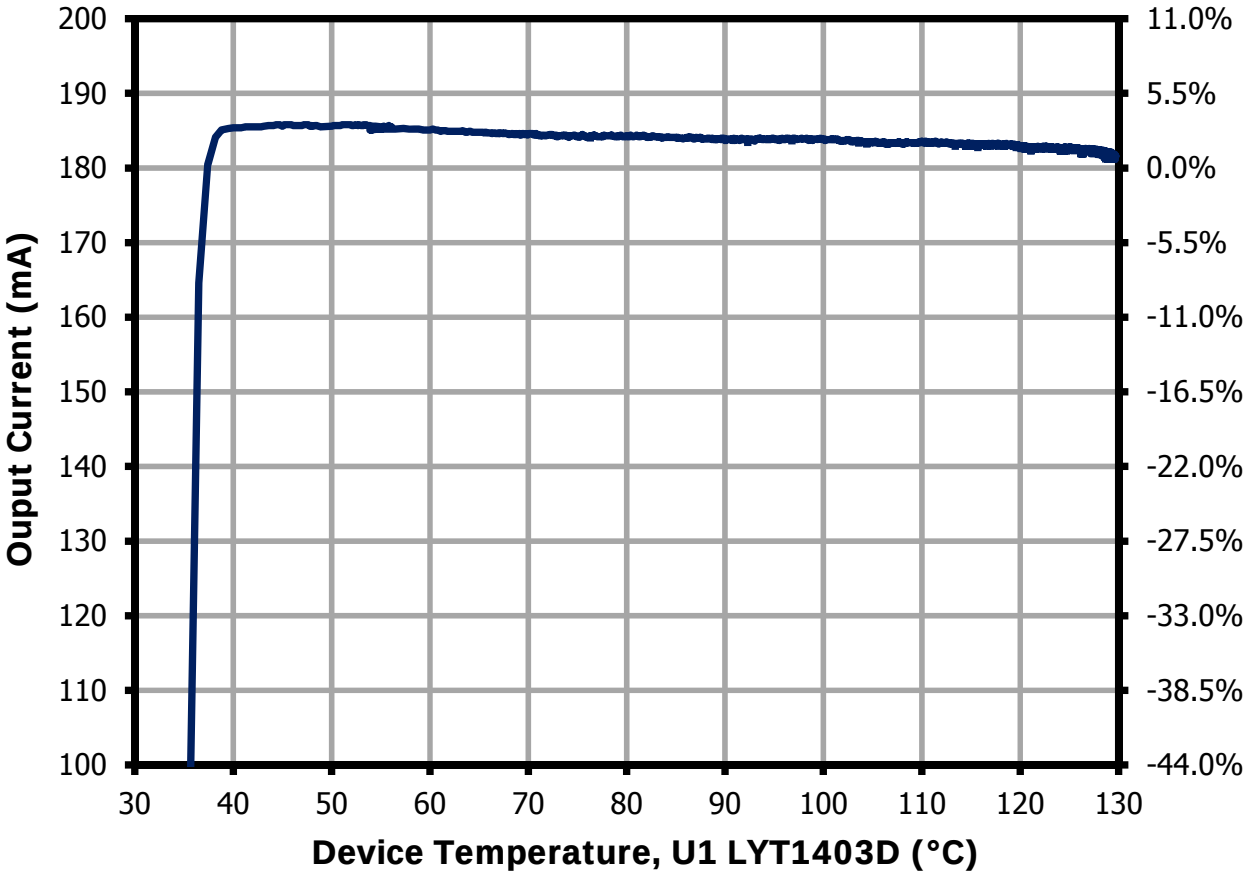


图 19 – 输出电流相对于器件温度(LYT1403D)的变化，230 VAC，环境温度 40ºC

12 波形

12.1 *输入电压和输入电流波形*

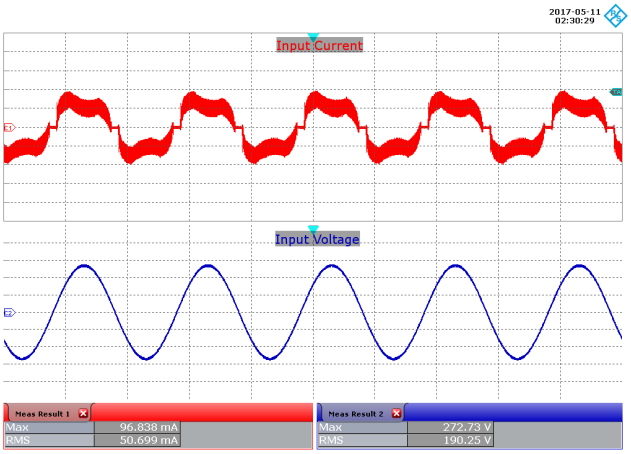


图 20 – 190 VAC，42 V LED 负载
上：I_{IN}，50 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，10 ms/格

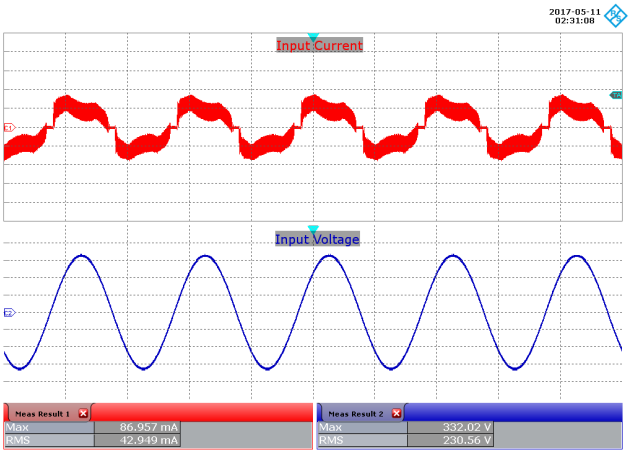


图 21 – 230 VAC，42 V LED 负载
上：I_{IN}，50 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，10 ms/格

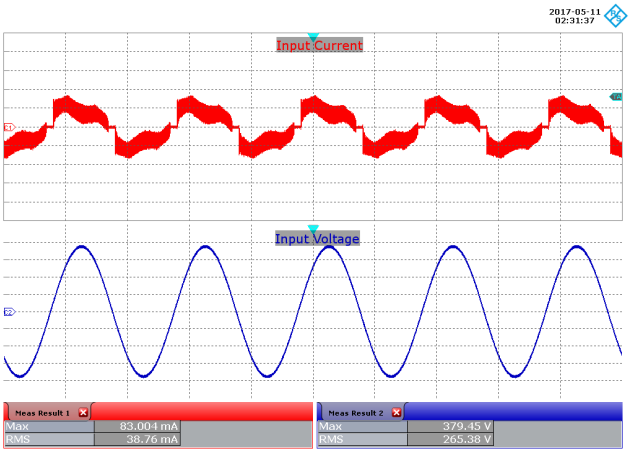


图 22 – 265 VAC，42 V LED 负载
上：I_{IN}，50 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，10 ms/格

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.power.com

12.2 *启动特征*

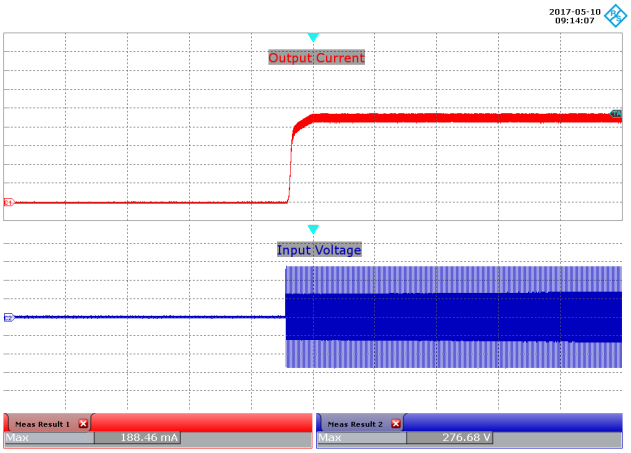


图 23 – 190 VAC，42 V LED，输出升高
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，1 s/格

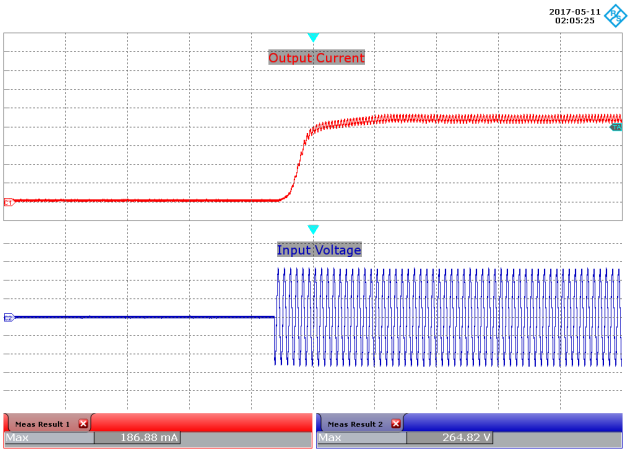


图 24 – 190 VAC，42 V LED，输出升高
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，200 ms/格

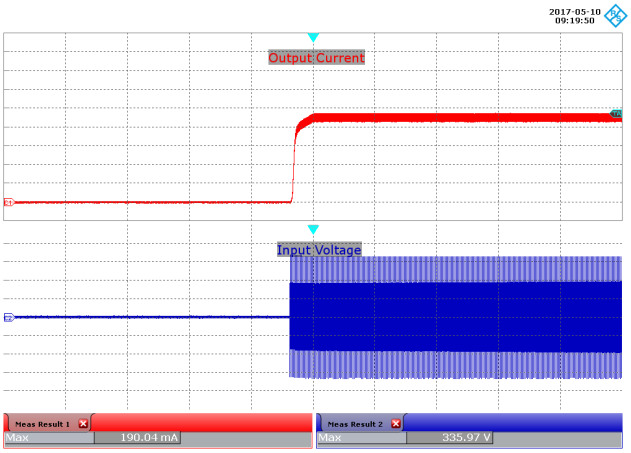


图 25 – 230 VAC，42 V LED，输出升高
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，1 s/格

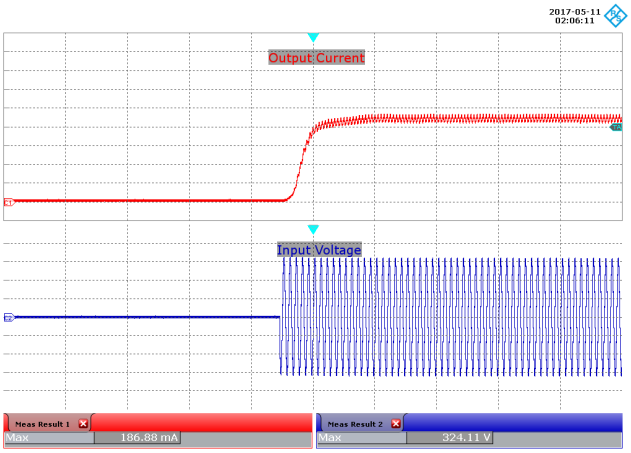


图 26 – 230 VAC，42 V LED，输出升高
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，200 ms/格

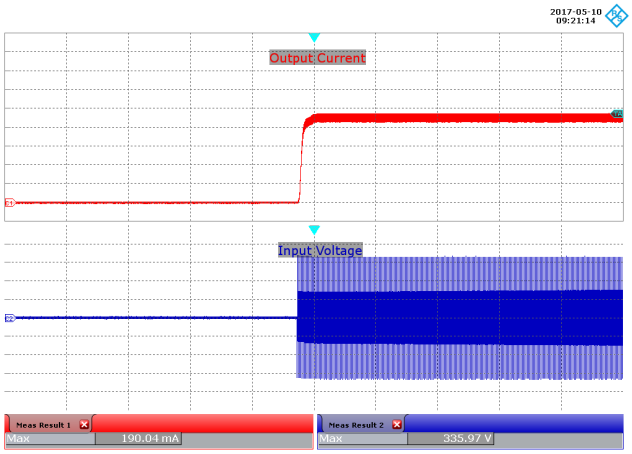


图 27 – 265 VAC，42 V LED，输出升高
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，1 s/格

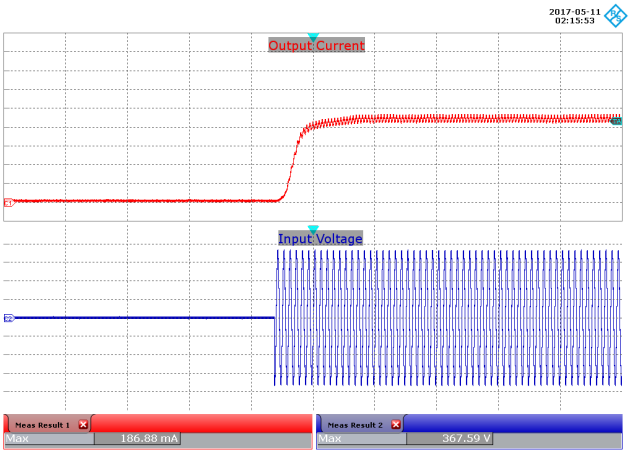


图 28 – 265 VAC，42 V LED，输出升高
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，200 ms/格

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

12.3 *输出电流下降*

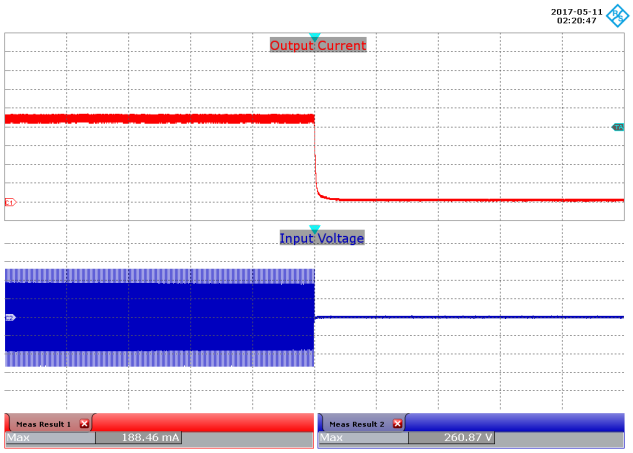


图 29 – 190 VAC，42 V LED，输出下降
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，1 s/格

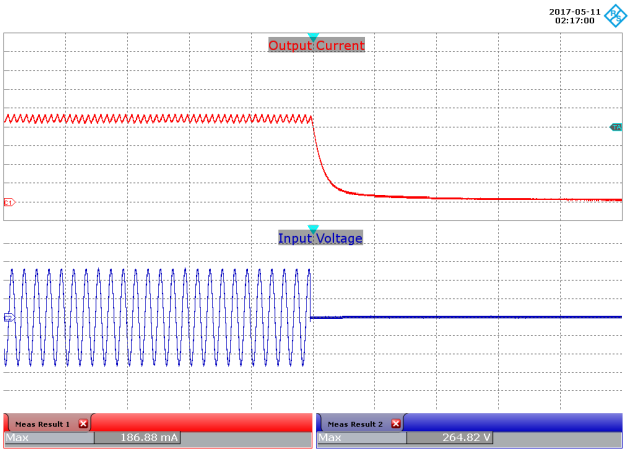


图 30 – 190 VAC，42 V LED，输出下降
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，100 ms/格

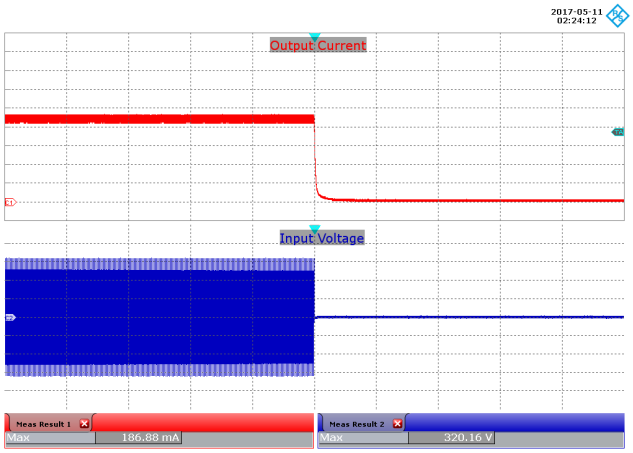


图 31 – 230 VAC，42 V LED，输出下降
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，1 s/格

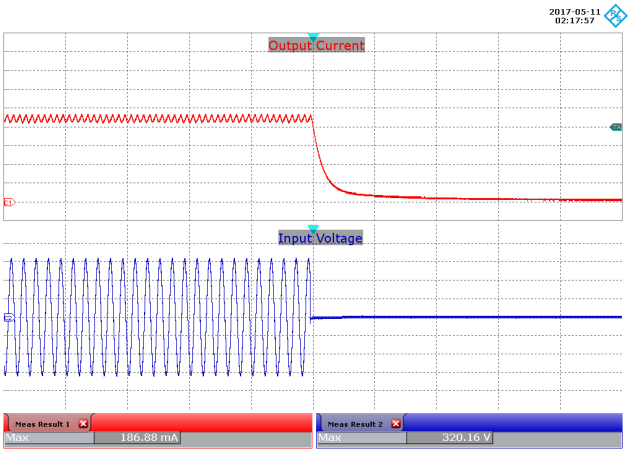


图 32 – 230 VAC，42 V LED，输出下降
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，100 ms/格

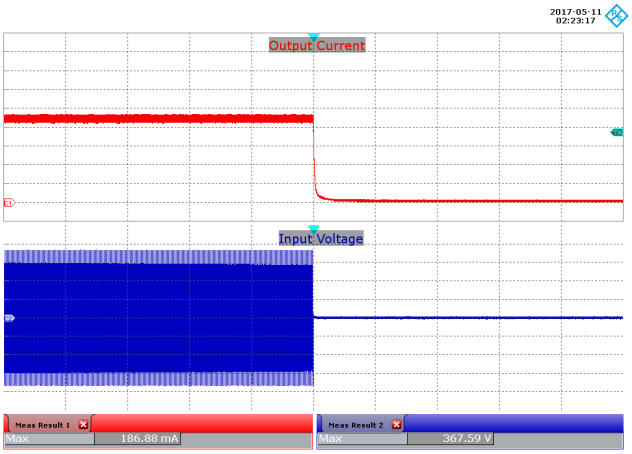


图 33 – 265 VAC，42 V LED，输出下降
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，1 s/格

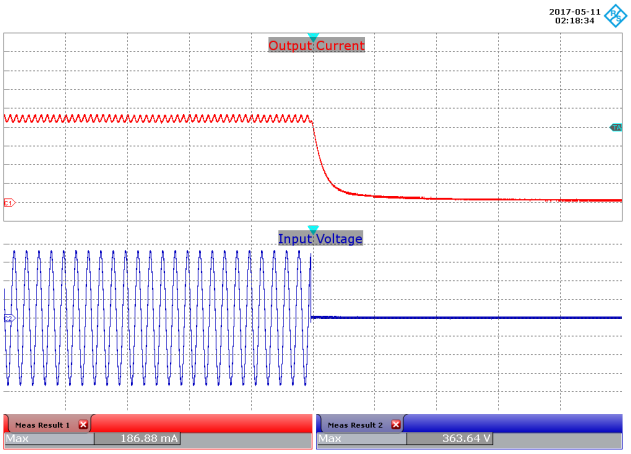


图 34 – 265 VAC，42 V LED，输出下降
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，100 ms/格

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.power.com

12.4 *正常工作时的漏极电压和电流*

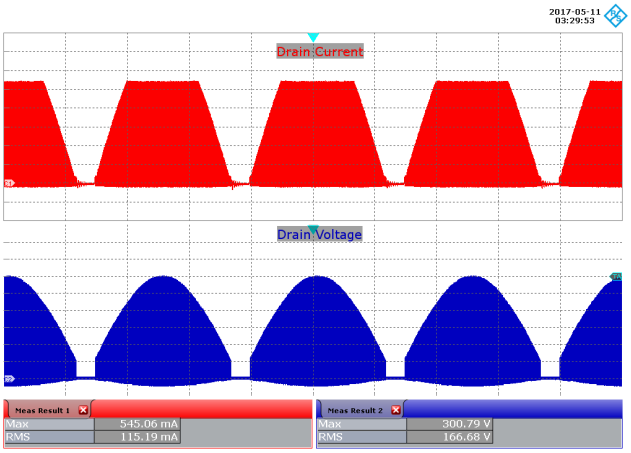


图 35 – 190 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，4 ms/格

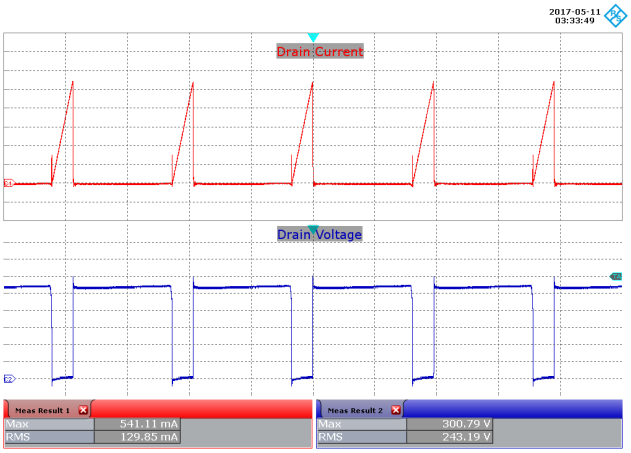


图 36 – 190 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，10 µs/格

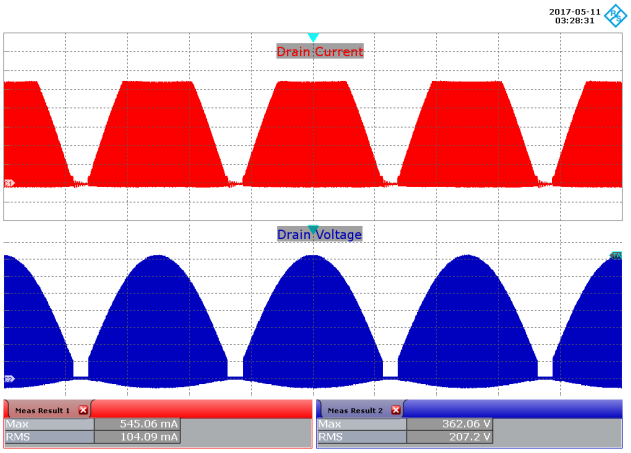


图 37 – 230 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，4 ms/格

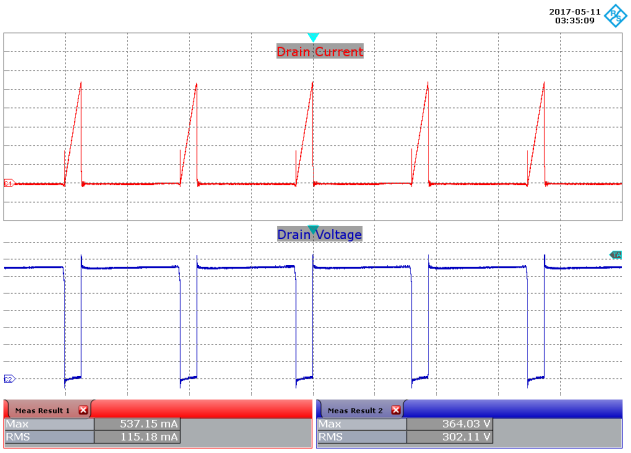


图 38 – 230 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，10 µs/格

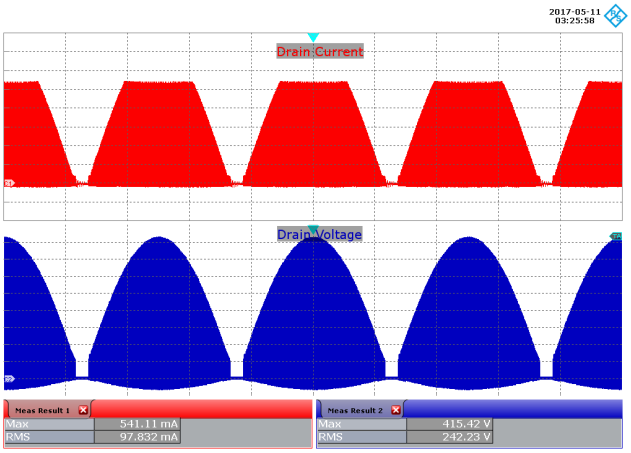


图 39 – 265 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，4 ms/格

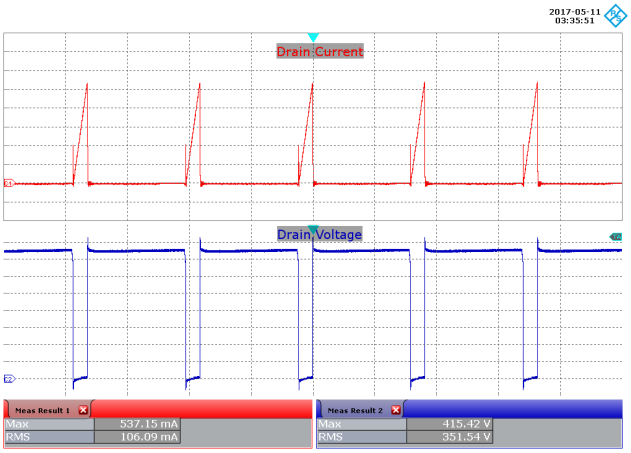


图 40 – 265 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，10 µs/格

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.power.com

12.5 *漏极电压和电流启动波形*

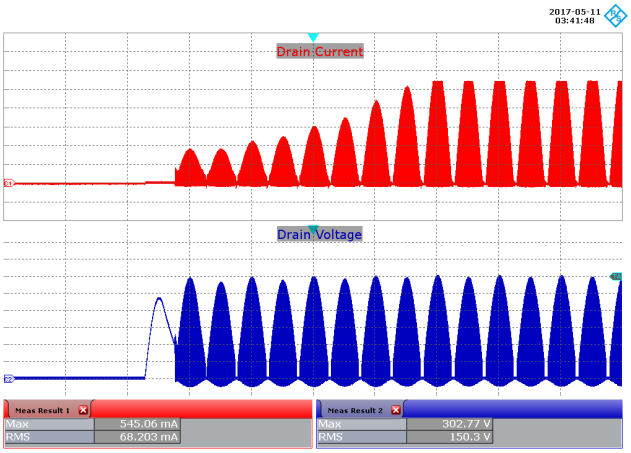


图 41 – 190 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，20 ms/格

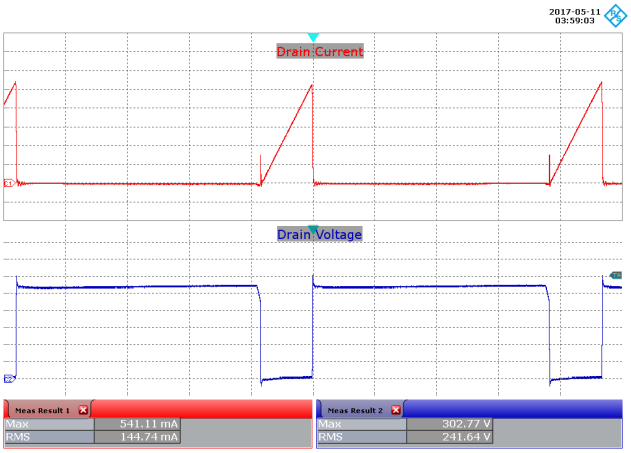


图 42 – 190 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，4 µs/格

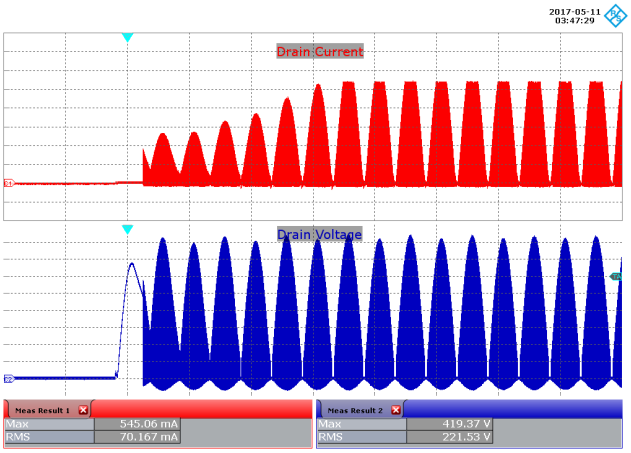


图 43 – 265 VAC，42 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，20 ms/格

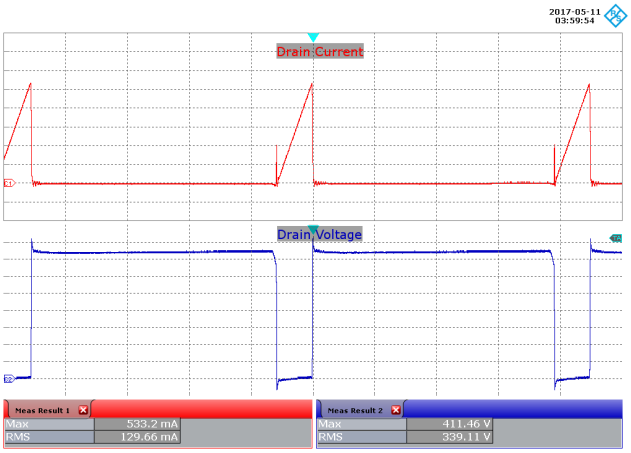


图 44 – 132 VAC，54 V LED 负载
上：I_{DRAIN}，100 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，4 µs/格

12.6 *输出短路时的漏极电压和电流*

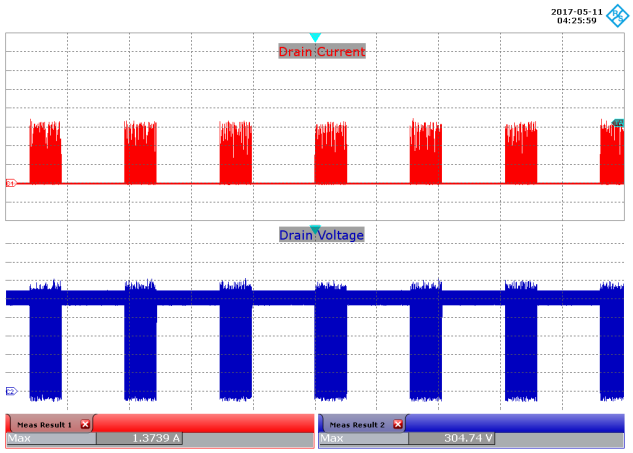


图 45 – 190 VAC，输出短路
上：I_{DRAIN}，400 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，1 s/格

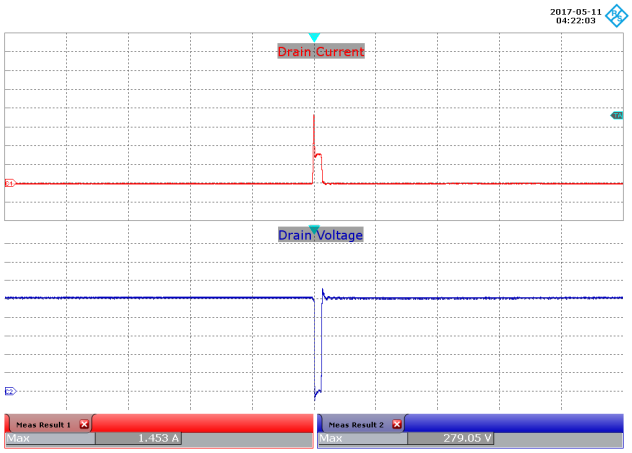


图 46 – 190 VAC，输出短路
上：I_{DRAIN}，400 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，2 µs/格

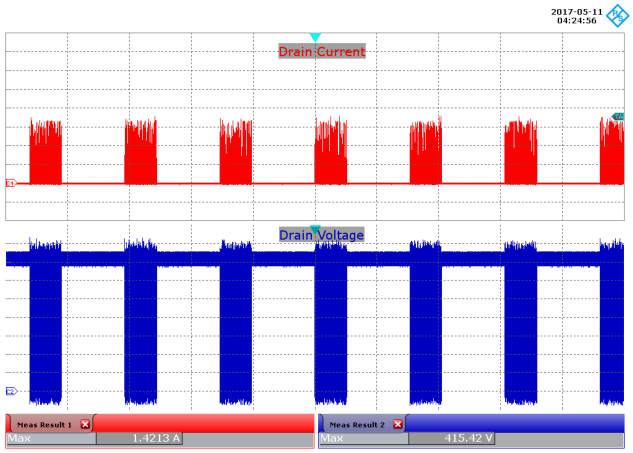


图 47 – 265 VAC，输出短路
上：I_{DRAIN}，400 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，1 s/格

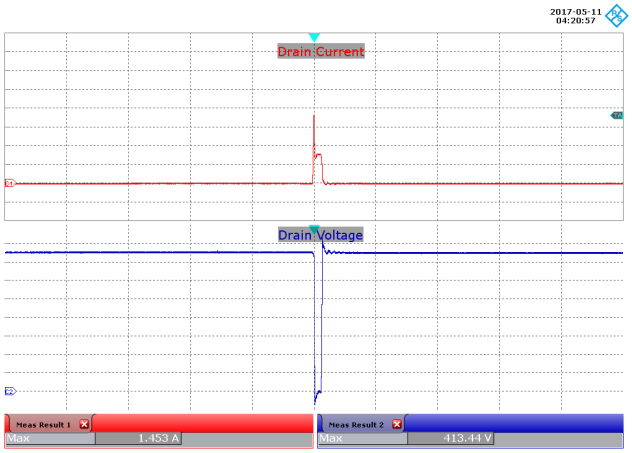


图 48 – 265 VAC，输出短路
上：I_{DRAIN}，400 mA/格
下：V_{DRAIN}，50 V/格，2 µs/格

12.6.1 输出短路时的输入功率

输入		输入测量		
VAC (V_{RMS})	**频率 (Hz)**	**V_{IN} (V_{RMS})**	**I_{IN} (mA_{RMS})**	**P_{IN} (W)**
190	50	189.98	5.76	0.343
220	50	220.02	5.17	0.371
230	50	230.04	5.04	0.380
265	50	265.00	4.68	0.395

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.power.com

12.7 *正常工作时的输出二极管电压和电流*

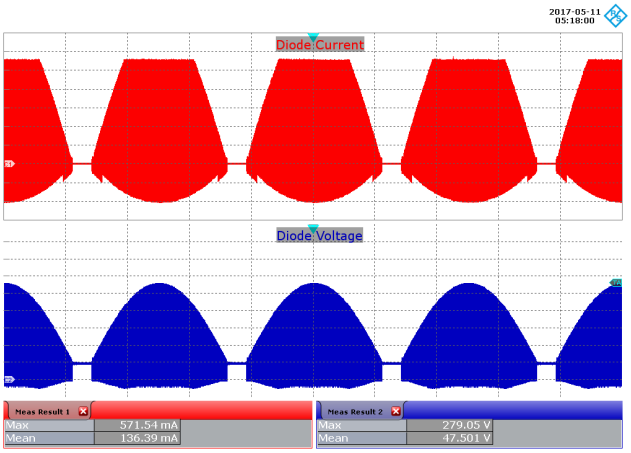


图 49 – 190 VAC，42 V LED 负载
上：I_{D1}，100 mA/格
下：V_{D1}，50 V/格，4 ms/格

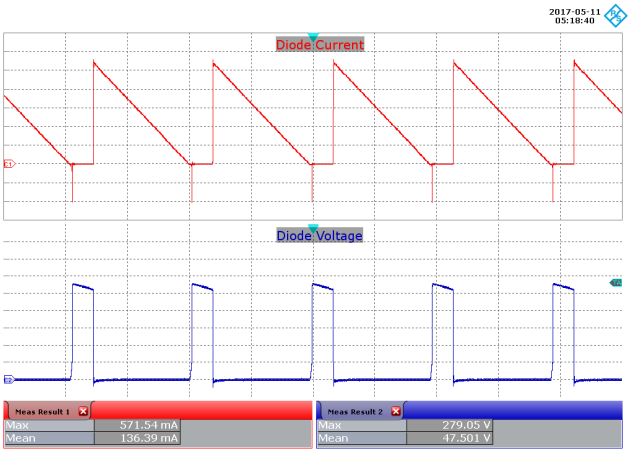


图 50 – 190 VAC，42 V LED 负载
上：I_{D1}，100 mA/格
下：V_{D1}，50 V/格，10 µs/格

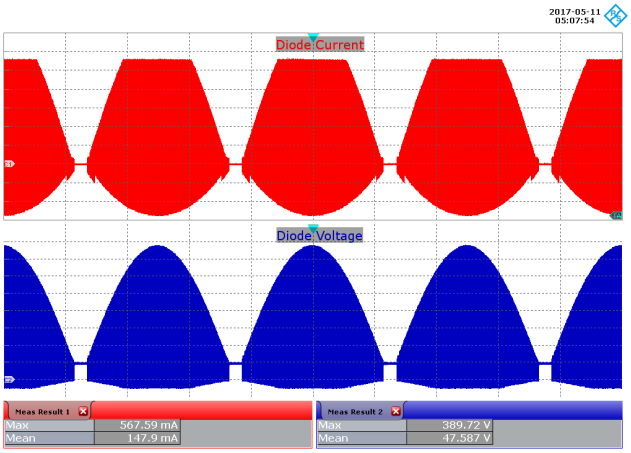


图 51 – 265 VAC，42 V LED 负载
上：I_{D1}，100 mA/格
下：V_{D1}，50 V/格，4 ms/格

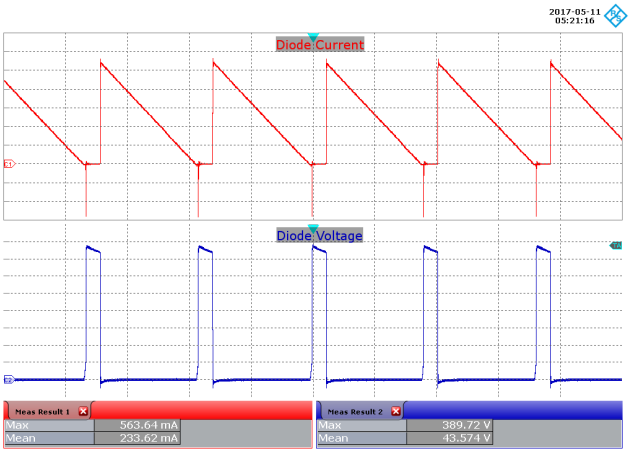


图 52 – 265 VAC，42 V LED 负载
上：I_{D1}，100 mA/格
下：V_{D1}，50 V/格，4 µs/格

12.8 *输出电压和电流 – 开路输出 LED 负载*

测得的最大空载输出电压低于输出电容的雷击电压额定值。

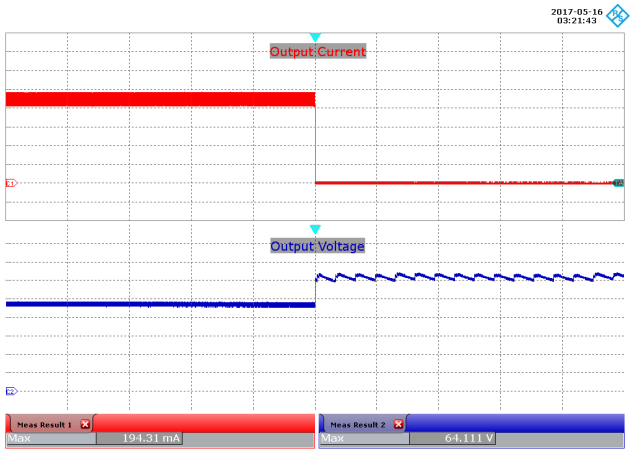


图 53 – 190 VAC，42 V LED 负载
运行开路负载
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{OUT}，10 V/格，4 s/格

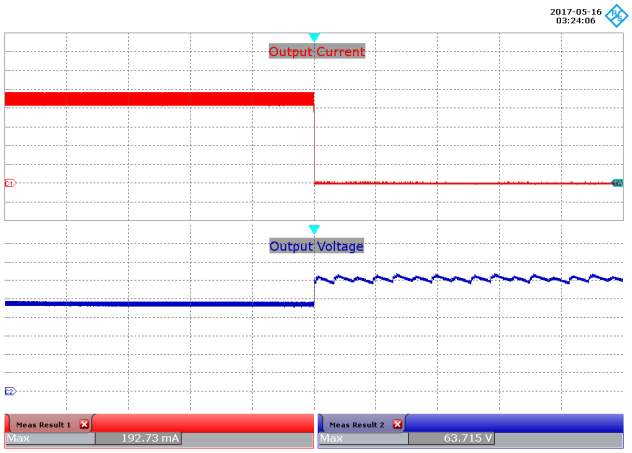


图 54 – 265 VAC，42 V LED 负载
运行开路负载
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{OUT}，10 V/格，4 s/格

12.9 *输出电压和电流 – 开路输出负载启动*

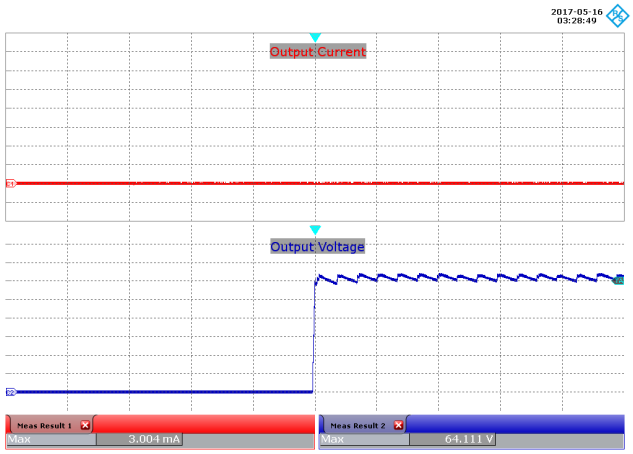


图 55 – 190 VAC，开路启动，
开路负载启动
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{OUT}，10 V/格，4 s/格

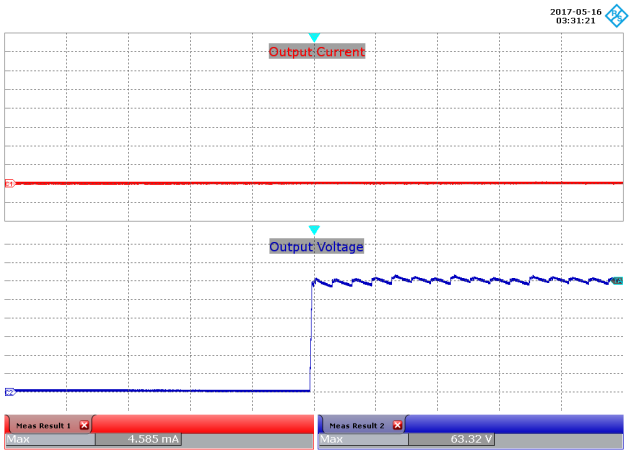


图 56 – 265 VAC，开路启动，
开路负载启动
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{OUT}，10 V/格，4 s/格

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.power.com

12.10 *输出纹波电流（具备有源纹波滤波器）*

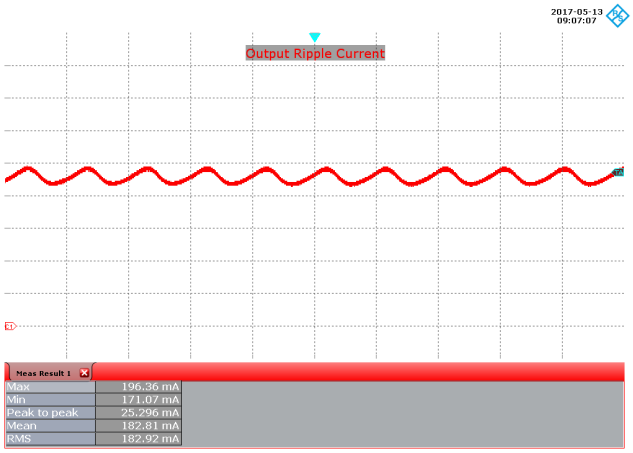


图 57 – 190 VAC，50 Hz，42 V LED 负载
上：I_{OUT}，40 mA/格，10 ms/格

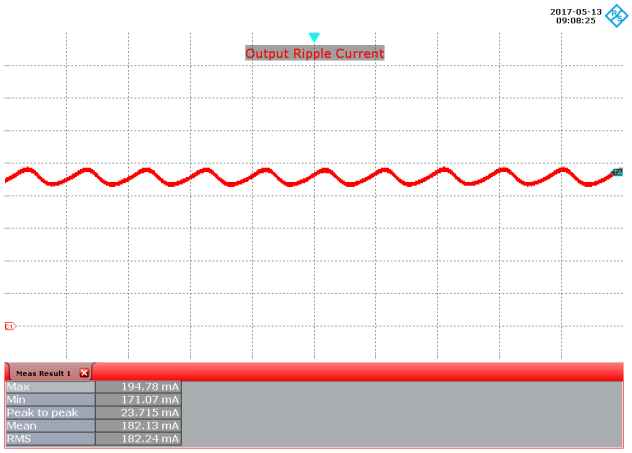


图 58 – 220 VAC，50 Hz，42 V LED 负载
上：I_{OUT}，40 mA/格，10 ms/格

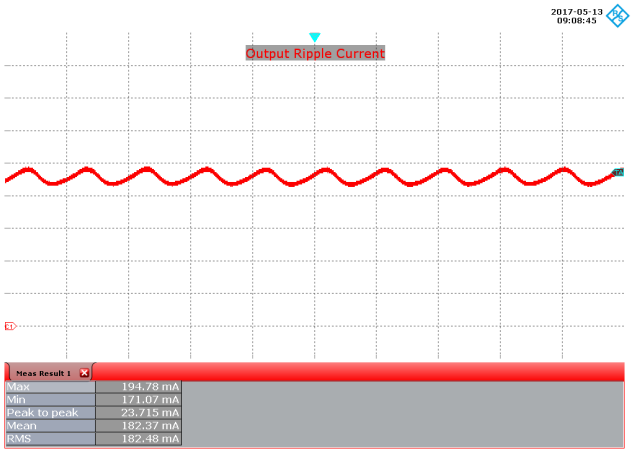


图 59 – 230 VAC，50 Hz，42 V LED 负载
上：I_{OUT}，40 mA/格，10 ms/格

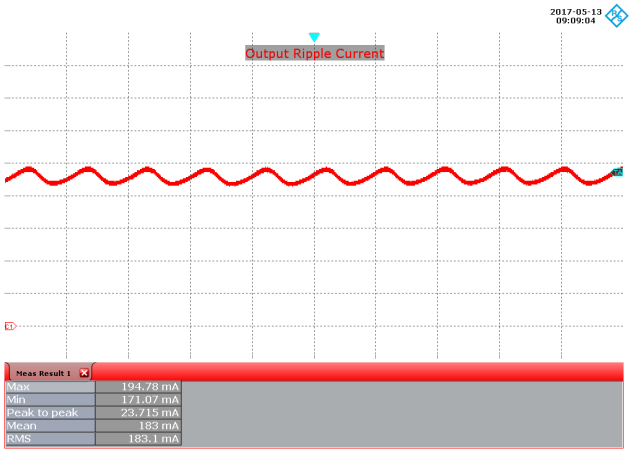


图 60 – 265 VAC，50 Hz，42 V LED 负载
上：I_{OUT}，20 mA/格，10 ms/格

V_{IN} (VAC)	$I_{OUT(MAX)}$ (mA)	$I_{OUT(MIN)}$ (mA)	I_{MEAN}	% 闪烁 100 x (I_{RP-P} / $I_{OUT(MAX)}$ + $I_{OUT(MIN)}$)
190	193.36	171.07	182.81	6.10
220	194.78	171.07	182.13	6.51
230	194.78	171.07	182.37	6.50
265	194.78	171.07	183	6.48

13 交流电循环上电测试

在交流电循环上电测试过程中没有发现输出电流过冲。

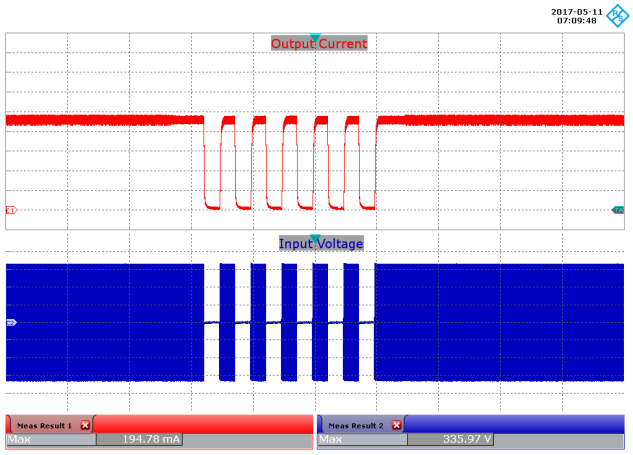


图 61 – 230 VAC，42 V LED 负载
1 s 导通 – 1 s 关断
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，4 s/格

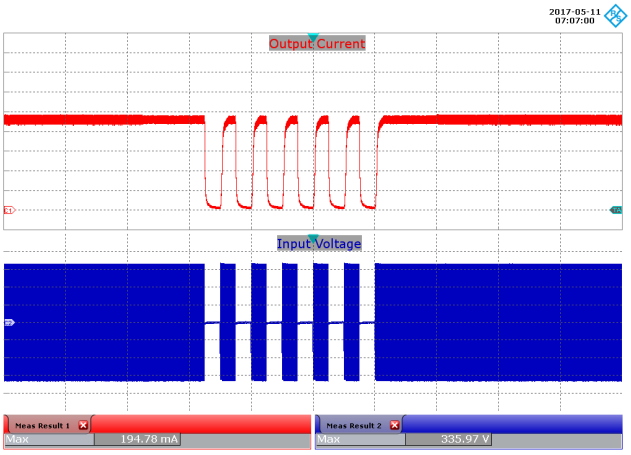


图 62 – 230 VAC，42 V LED 负载
0.5 s 导通 – 0.5 s 关断
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，2 s/格

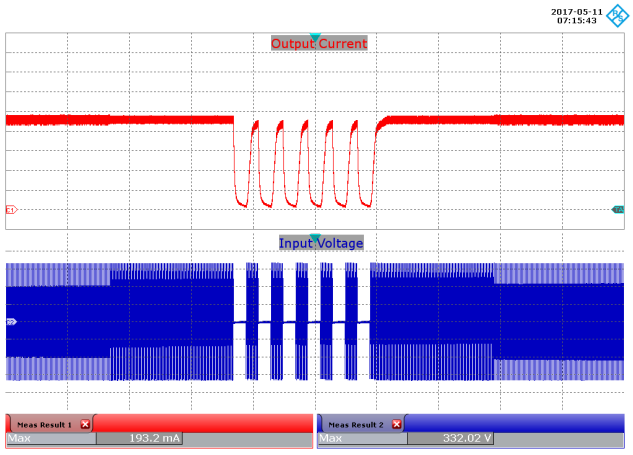


图 63 – 230 VAC，42 V LED 负载
200 ms 导通 – 200 ms 关断
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，1 s/格

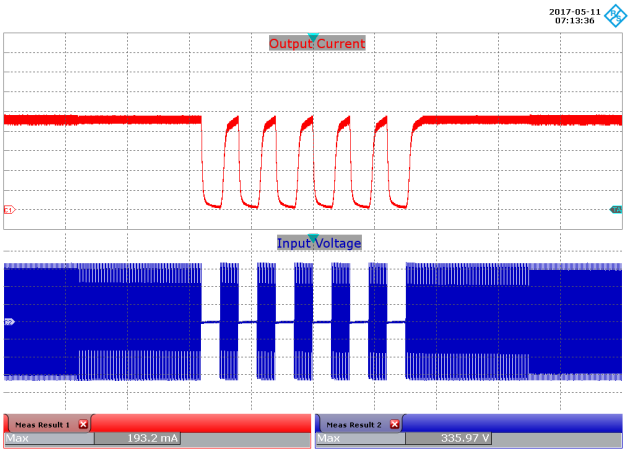


图 64 – 230 VAC，42 V LED 负载
300 ms 导通 – 300 ms 关断
上：I_{OUT}，40 mA/格
下：V_{IN}，100 V/格，1 s/格

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.power.com

14 传导 EMI

14.1 *测试设置*

14.1.1 使用的设备和负载

1. Rohde and Schwarz ENV216 两线 V 型网络测试仪
2. Rohde and Schwarz ESRP EMI 测试接收器
3. Hioki 3322 电力测量仪
4. Chroma 测量测试治具
5. 42 V LED 负载，输入电压设在 230 VAC

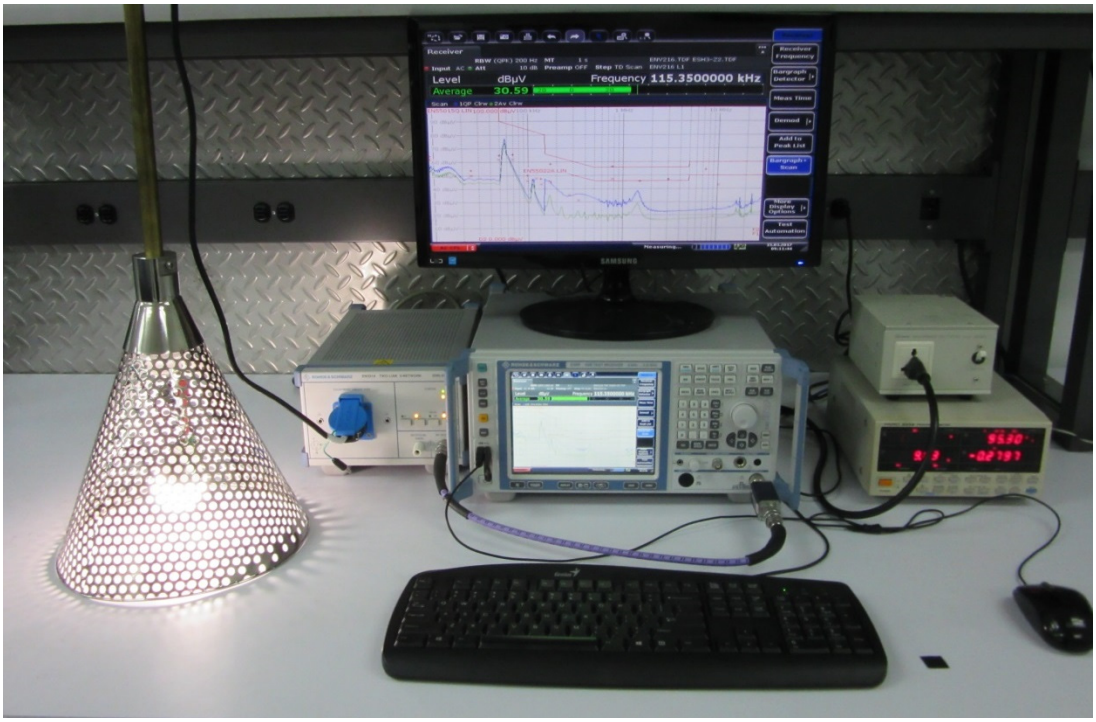
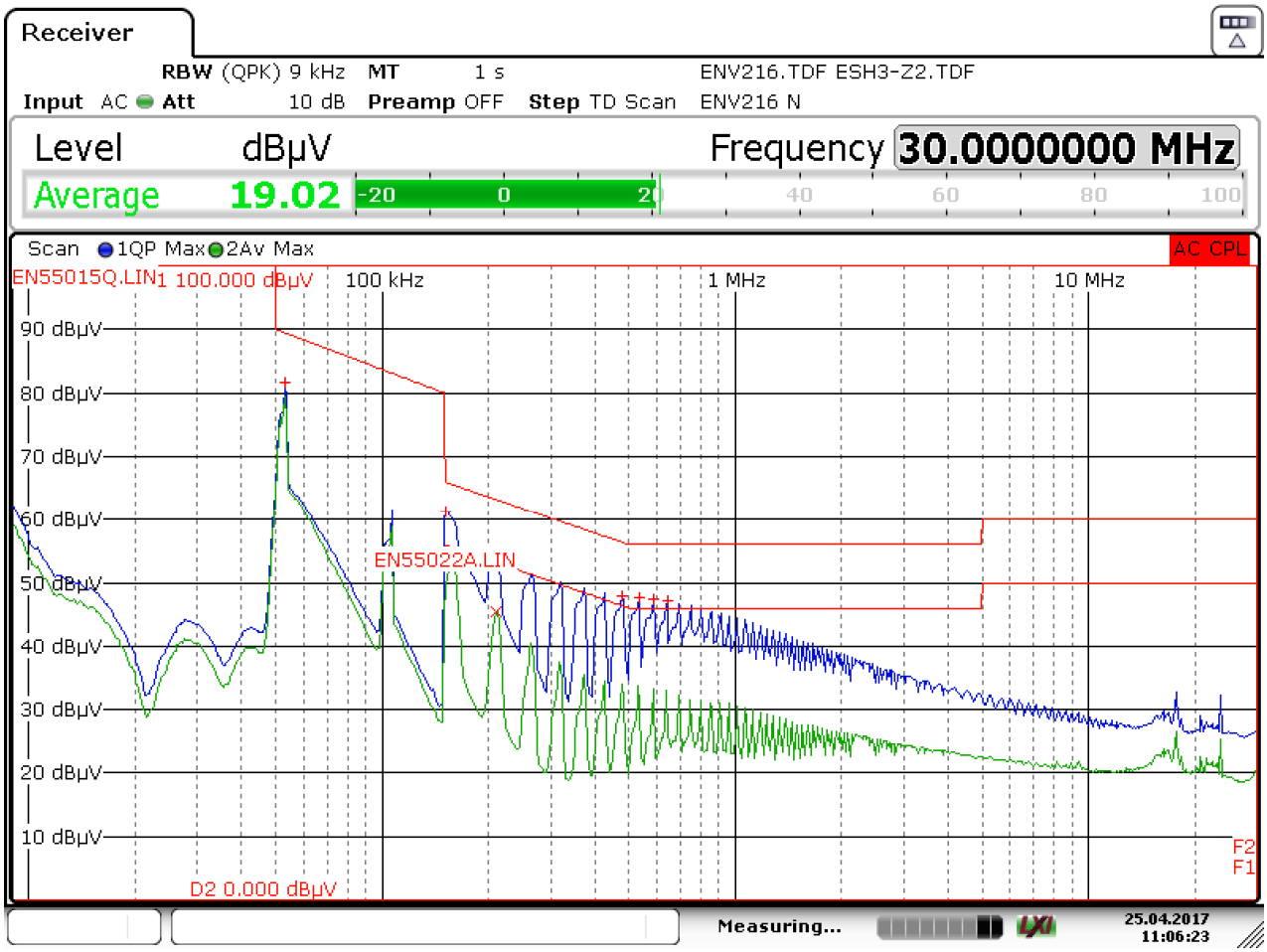


图 65 – 传导 EMI 测试设置

14.2 *EMI 测试结果*



Date: 25.APR.2017 11:06:23

图 66 – 传导 EMI QP 扫描，42 V LED 负载，230 VAC，50 Hz，EN55015 B 限值

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

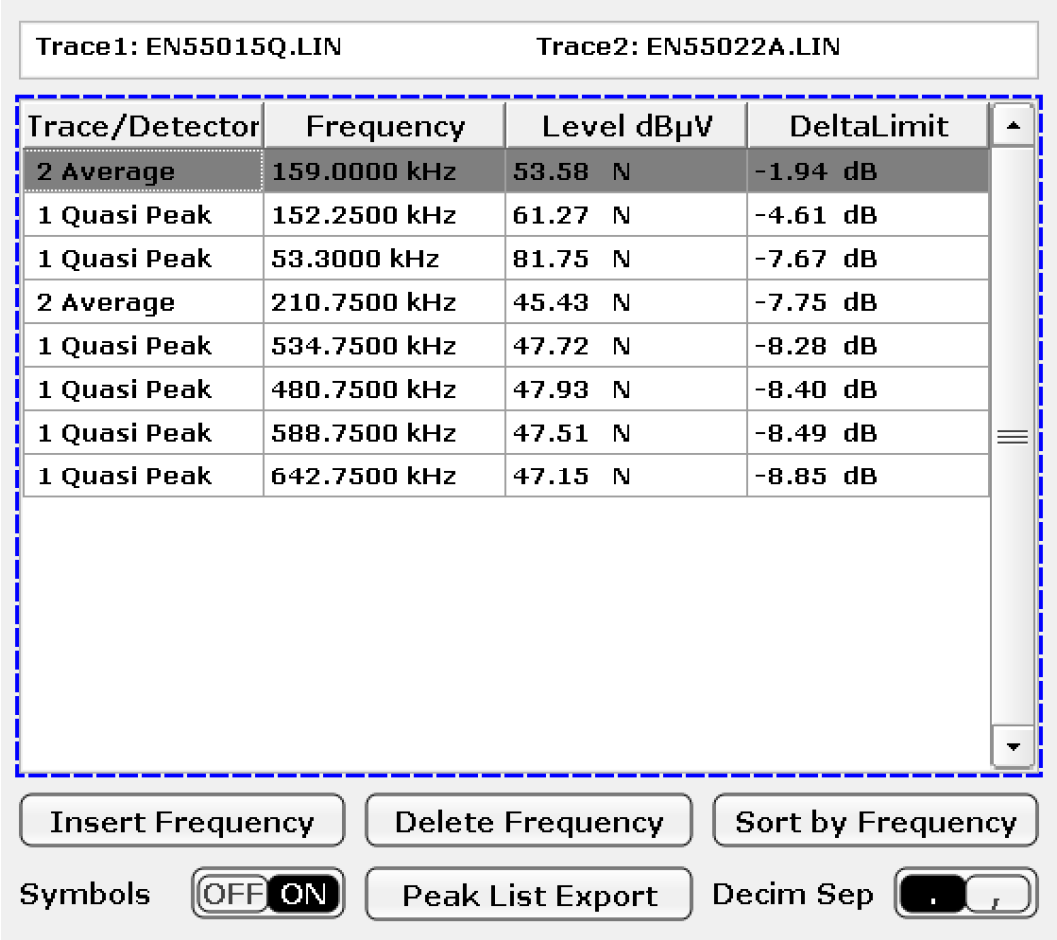


图 67 – 传导 EMI 数据，230 VAC，42 V LED 负载

15 输入浪涌

被测电源应能承受±2500 V、100 kHz 振铃波和±500 V 差模浪涌，且在每种条件下进行 10 次雷击测试。测试失败的定义是：输出出现不可恢复性中断，需要修复电源或切断后再接通输入电压。

浪涌水平 (V)	输入电压 (VAC)	注入位置	注入相位 (°)	测试结果（通过/失败）
+500 V	230	L 到 N	0	通过
-500 V	230	L 到 N	0	通过
+500 V	230	L 到 N	90	通过
-500 V	230	L 到 N	90	通过

浪涌水平 (V)	输入电压 (VAC)	注入位置	注入相位 (°)	测试结果（通过/失败）
+2500	230	L 到 N	0	通过
-2500	230	L 到 N	0	通过
+2500	230	L 到 N	90	通过
-2500	230	L 到 N	90	通过

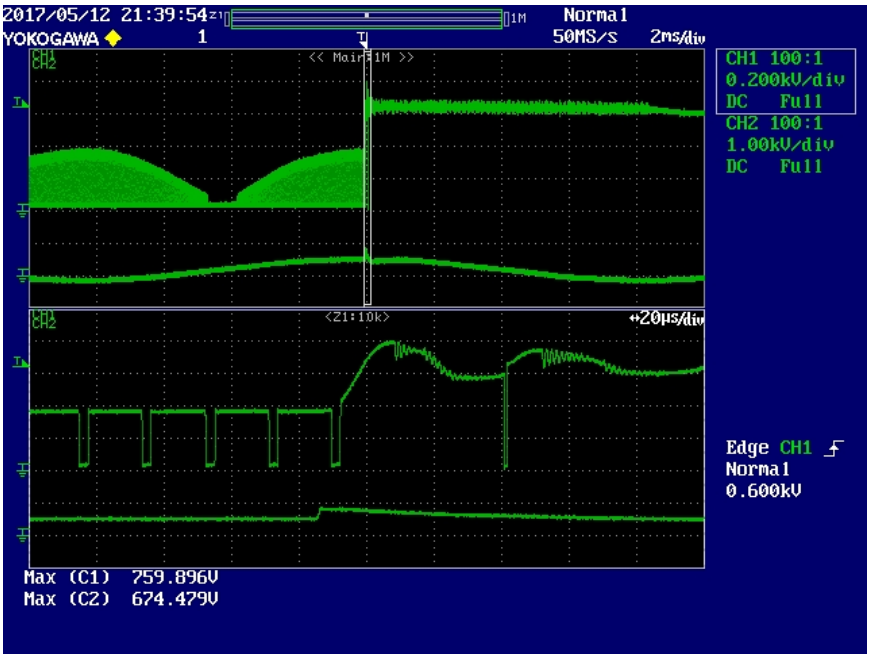


图 68 – 在最差输入条件下(230 VAC)的+500 V 差模浪涌，90º 相位角。
V_{DRAIN}，200 V/格，2 ms/格。
峰值 V_{DRAIN}：759.90 V

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

16 电压缓升/跌落测试

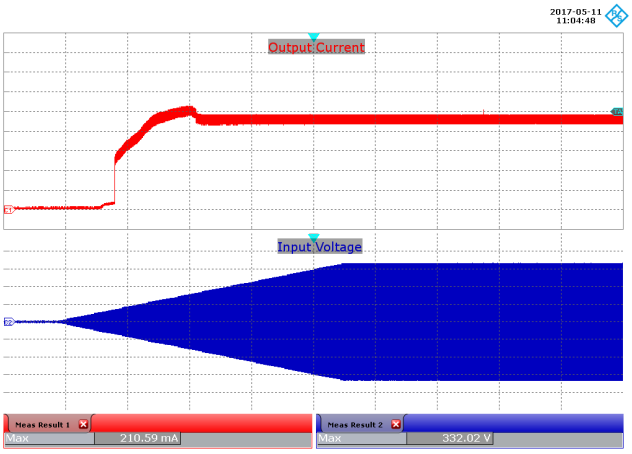


图 69 – 1 V/s 电压缓升

Ch1：I_{OUT}，40 mA/格

Ch2：V_{IN}， 100 V/格

时间量程：50 s/格

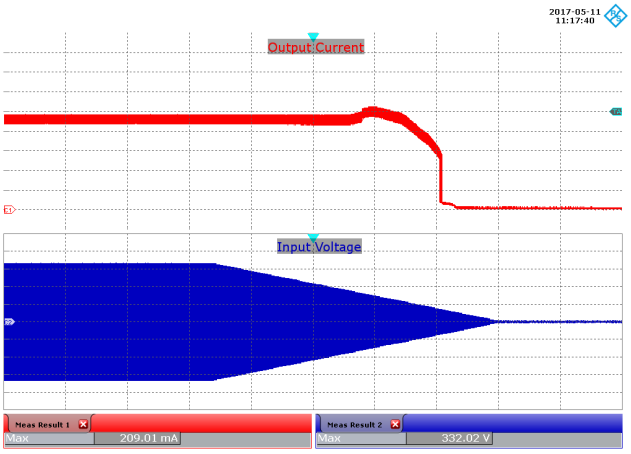


图 70 – 1 V/s 电压跌落

Ch1：I_{OUT}，40 mA/格

Ch2：V_{IN}， 100 V/格

时间量程：50 s/格

17 版本历史

日期	作者	修订版本	说明与变更	审核者
2017 年 7 月 12 日	CA	1.0	初始版本	Apps & Mktg

Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.power.com

有关最新产品信息，请访问： 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. 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. ©2017, 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

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

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

德国
Lindwurmstrasse 114
80337 Munich
Germany
Phone: +49-895-527-39110
Fax: +49-895-527-39200
e-mail: eurosales@power.com

德国
HellwegForum 1
59469 Ense
Germany
Tel: +49-2938-64-39990
e-mail: 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

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

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

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

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

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

英国
Building 5, Suite 21
The Westbrook Centre
Milton Road
Cambridge
CB4 1YG
Phone: +44 (0) 7823-557484
e-mail: eurosales@power.com