设计范例报告

标题	***使用LinkSwitch™-PH LNK409EG芯片设计的 25 W 非隔离、降压-升压拓扑结构、带功率因数校正的LED驱动器，适合T8灯管应用***
规格	180 VAC – 265 VAC输入；100 V，250 mA输出
应用	T8灯管使用的LED驱动器
作者	应用工程部
文档编号	DER-287
日期	2011年7月15日
修订版本	1.0

特色概述

- 可极大简化离线式功率因数校正LED驱动器的设计
  - 单级、带功率因数校正的恒流、非隔离LED驱动器
  - 元件数量极少，外形紧凑
  - 在整个输入电压和负载范围内具有高功率因数(PF >0.9)
  - 在230 VAC输入下，效率极高(>91%)
  - 在230 VAC输入下，具有低THD (<25%)
  - 满足IEC61000-3-2 CLASS C标准
  - 省去所有控制环路补偿电路
  - 无需输出电流检测
- 先进的性能特性
  - 补偿电感容差
  - 补偿输入电压波动
  - 补偿输出电压波动
  - 频率调制技术极大降低了EMI滤波元件的成本
- 先进的保护及安全特性
  - 通过自动重启动提供短路保护
  - 迟滞热关断保护

Power Integrations
5245 Hellyer Avenue, San Jose, CA 95138 USA.
电话：+1 408 414 9200　传真：+1 408 414 9201
www.powerint.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 电路描述 9
5 PCB布局 10
6 物料清单(BOM) 11
6.1 电气BOM 11
7 磁芯规格 12
7.1 T1变压器规格 12
7.1.1 电气原理图 12
7.1.2 电气规格 12
7.1.3 材料 12
7.1.4 变压器结构图 12
7.2 T2电感规格 13
7.2.1 电气原理图 13
7.2.2 电气规格 13
7.2.3 材料 13
7.2.4 电感结构图 13
7.3 L4 CMC规格 14
7.3.1 电气原理图 14
7.3.2 电气规格 14
7.3.3 材料 14
7.3.4 电感结构图 14
8 电感设计表格 15
9 U1散热片尺寸 18
10 性能数据 19
10.1 效率 19
10.2 输入电压调整率和负载调整率 20
10.3 功率因数 22
10.4 A-THD 23
10.5 谐波 24
10.5.1 33 LED负载 24
10.5.2 34 LED负载 25
10.5.3 35 LED负载 26
10.6 测试数据 27
10.6.1 测试数据，33 LED负载 27
10.6.2 测试数据，34 LED负载 27
10.6.3 测试数据，35 LED负载 27

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

10.6.4 230 VAC 50 Hz，33 LED负载谐波数据 28
10.6.5 230 VAC 50 Hz，34 LED负载谐波数据 29
10.6.6 230 VAC 50 Hz，35 LED负载谐波数据 30
11 波形 31
11.1 输入线电流 31
11.2 漏极电压和电流正常工作 32
11.3 漏极电压和电流启动工作 33
11.4 输出电流和输出电压 34
11.5 上电和断电时的输出电流和电压 35
11.6 输出短路 36
11.7 开路负载 36
12 热测量 37
13 传导EMI测量 41
13.1 传导EMI测试设置 41
13.2 传导EMI测试结果 42
14 电源瞬态测试 43
15 版本历史 44

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

本文档介绍的是一款非隔离、带功率因数校正的、低THD、高效率LED驱动器，它可以在180 VAC至265 VAC的输入电压范围内为LED灯串提供~100 V、250 mA的驱动。

LinkSwitch-PH采用先进技术，能够以高成本效益的方式实现单级功率因数校正的LED驱动器设计和初级侧恒流控制。LinkSwitch-PH控制器非常适合LED驱动器应用，所需外围元件极少。它无需使用光耦器即可对LED负载中的输出电流提供控制。

LinkSwitch-PH在一个芯片中集成了725 V功率MOSFET和控制器。该控制器包括一个振荡器、PWM（脉宽调制）、6 V稳压器、过热保护、频率抖动、逐周期限流、前沿消隐以及一个用于输出CC（恒流）控制的充电控制器。

LinkSwitch-PH也可提供一系列其他复杂的保护功能，包括在控制环路开环、短路和输出短路条件下自动重启动。精确的迟滞热关断可确保PCB板温度在所有条件下均处于安全范围内。

本报告所介绍的非隔离、带功率因数校正、降压-升压的设计显示了LinkSwitch-PH如何以极少的元件数大幅简化离线、高效率功率因数校正LED驱动器的设计，以及如何实现一个符合Class C谐波电流要求的极高效率、高输出电压设计。

本文档包含LED驱动器规格、电路原理图、PCB设计图、物料清单、传导EMI测量、热测量、电感规格资料和典型性能特征。

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

图1 – 装配后的电路板图片（顶视图）

图2 – 装配后的电路板图片（底视图）

图3 – 显示T8灯管内LED驱动器的图片

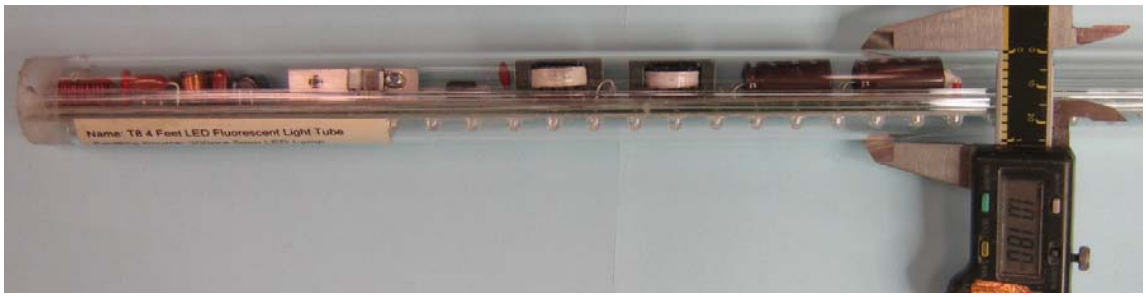


图4 – 显示T8灯管内LED驱动器的图片

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}	180		265	VAC	双导线 – 无P.E.
频率	f_{LINE}		50/60		Hz	
输出						
LED电压	V_{OUT}		100		V	
LED电流			250		mA	
总输出功率						
连续输出功率	P_{OUT}		25		W	
环境						
传导EMI		满足EN55015B标准				
安全		非隔离				
效率		90	91			
谐波电流		Class C				61000-3-2
功率因数		0.95				
环境温度	T_{AMB}		50		°C	

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

3 电路原理图

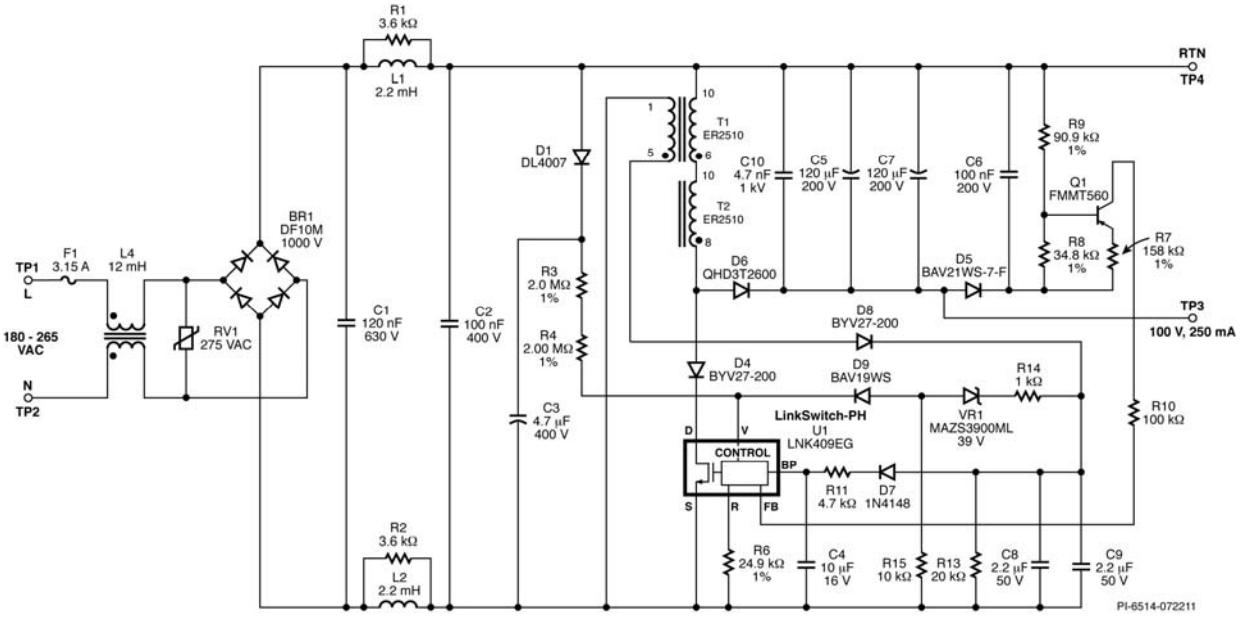


图5 – 电路原理图

4 电路描述

LinkSwitch-PH (U1)是一款适用于LED驱动器应用的高集成度初级侧芯片控制器。LinkSwitch-PH能够在单级转换拓扑结构中提供高功率因数，同时对典型LED驱动器环境中的各种输入和输出电压条件下的输出电流进行调节。所有提供这些功能的控制电路以及高压功率MOSFET都集成在该器件中。

电容C1和C2、差模扼流圈L1和L2以及共模扼流圈L4用于执行EMI滤波，它们均采用合适的尺寸来维持高功率因数。电阻R1和R2用于抑制L1和L2的Q，避免在EMI频谱中出现谐波峰值。

采用浮动输出的降压-升压电源电路由U1（电源开关 + 控制）、输出二极管D6、输出电容C5和C7以及输出电感T1和T2构成。电感T1在反激式拓扑结构中配置了第二个绕组，用来向U1提供偏置供电。由于灯管中空间受限，因而使用了两个电感。二极管D4用来防止输入电压在接近过零点时U1的漏-源极出现负电压。二极管D1和C3检测峰值AC线电压。C3以及R3和R4上的电压可设置馈入电压监测(V)引脚的输入电流。U1使用该电流来控制输入欠压(UV)、过压(OV)和前馈电流，前馈电流与反馈(FB)引脚电流共同为LED负载提供恒流。

U1用于输出电流调节的FB引脚电流由电压-电流转换器网络（由R7-R10、Q1、C6和D5构成）提供。输出电压与反馈电流相关，其表达式如下：

$$I_{FB} \approx I_{R7} = \frac{V_{OUT} \times \frac{R8}{R8+R9} - V_{BE}}{R7}$$

对R8电压的取值可消除或降低温度和V_{CE}（与Q1的V_{BE}电压相关）的影响。

需要了解更多信息？
使用您的智能手机和来自
www.neoreader.com 的免费软件
（或任何其他来自您智能手机应用程序商店的免费 QR 码阅读器）即可连接到我们网站上的相关内容。

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

5 PCB布局

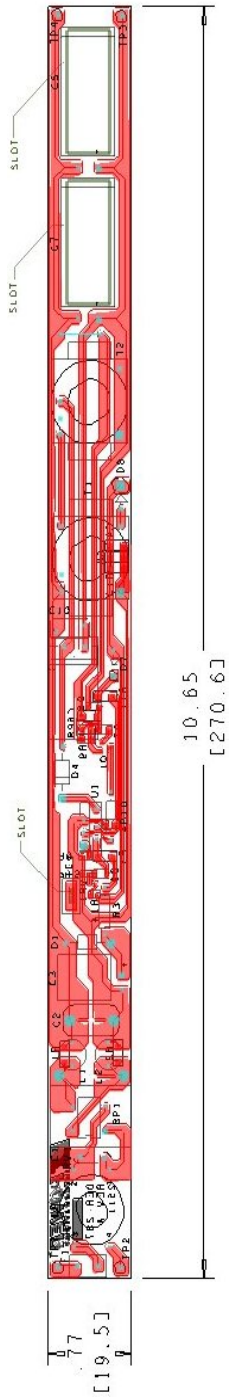


图6 – 印刷电路板，顶部和底部布局，10.65” (270.6 mm) x 0.77” (19.5 mm)

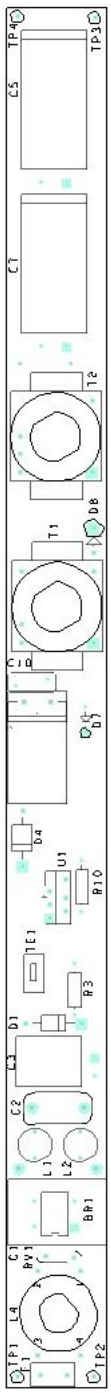


图7 – 印刷电路板，顶部布局

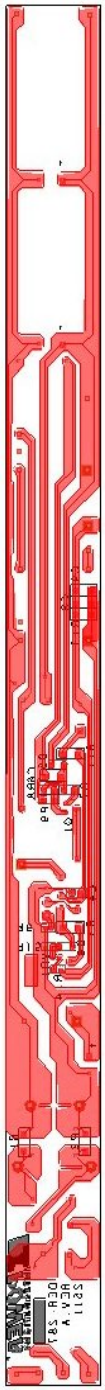


图8 – 印刷电路板，底部布局

6 物料清单(BOM)

6.1 电气BOM

项	数量	参考序号	说明	生产商型号	生产商
1	1	BR1	1000 V，1 A，桥式整流器，DF-M，玻璃钝化，4-EDIP	DF10M	Diodes, Inc.
2	1	C1	120 nF，630 V，薄膜	ECQ-E6124KF	Panasonic
3	1	C2	100 nF，400 V，薄膜	ECQ-E4104KF	Panasonic
4	1	C3	4.7 μF，400 V，电解，(8 x 11.5)	SHD400WV 4.7uF	Sam Young
5	1	C4	10 μF，16 V，陶瓷，X5R，0805	GRM21BR61C106KE15L	Murata
6	2	C5 C7	120 uF，200 V，电解，(12.5 x 25)	EKMQ201ELL121MK25S	Nippon Chemi-Con
7	1	C6	100 nF，200 V，陶瓷，X7R，1206	VJ1206Y104KXCAT	Vishay
8	2	C8 C9	2.2 μF，50 V，陶瓷，Y5V，1206	GRM31MF51H225ZA01L	Murata
9	1	C10	4700 pF，1 kV，圆盘状陶瓷	562R5GAD47	Vishay
10	1	D1	1000 V，1 A，整流器，DO-41	1N4007-E3/54	Vishay
11	2	D4 D8	200 V，2 A，超快速恢复，25 ns，SOD57	BYV27-200-TR	Vishay
12	1	D5	250 V，0.2 A，快速开关，50 ns，SOD-323	BAV21WS-7-F	Diodes, Inc.
13	1	D6	600 V，3 A，TO-220AC	QH03TZ600	Power Integrations
14	1	D7	75 V，300 mA，快速开关，DO-35	1N4148TR	Vishay
15	1	D9	100 V，0.2 A，快速开关，50 ns，SOD-323	BAV19WS-7-F	Diodes, Inc.
16	1	F1	3.15 A，250 V，慢，RST	507-1181	Belfuse
17	2	L1 L2	2.2 mH，0.19 A，铁氧体磁芯	CTCH895F-222K	CT Parts
18	1	L4	12 mH，共模扼流圈		
19	1	Q1	PNP，弱信号BJT，500 V，0.15 A，SOT23	FMMT560TA	Zetex
20	2	R1 R2	3.6 kΩ，5%，1/4 W，厚膜，1206	ERJ-8GEYJ362V	Panasonic
21	1	R3	2.0 MΩ，5%，1/4 W，碳膜	CFR-25JB-2M0	Yageo
22	1	R4	2.00 MΩ，1%，1/4 W，厚膜，1206	ERJ-8ENF2004V	Panasonic
23	1	R6	24.9 kΩ，1%，1/16 W，厚膜，0603	ERJ-3EKF2492V	Panasonic
24	1	R7	158 kΩ，1%，1/8 W，厚膜，0805	ERJ-6ENF1583V	Panasonic
25	1	R8	34.8 kΩ，1%，1/8 W，厚膜，0805	ERJ-6ENF3482V	Panasonic
26	1	R9	90.9 kΩ，1%，1/8 W，厚膜，0805	ERJ-6ENF9092V	Panasonic
27	1	R10	100 kΩ，5%，1/4 W，碳膜	CFR-25JB-100K	Yageo
28	1	R11	4.7 kΩ，5%，1/4 W，厚膜，1206	ERJ-8GEYJ472V	Panasonic
29	1	R13	20 kΩ，5%，1/4 W，厚膜，1206	ERJ-8GEYJ203V	Panasonic
30	1	R14	1 kΩ，5%，1/10 W，厚膜，0603	ERJ-3GEYJ102V	Panasonic
31	1	R15	10 kΩ，5%，1/10 W，厚膜，0603	ERJ-3GEYJ103V	Panasonic
32	1	RV1	275 V，23 J，7 mm，径向	V275LA4P	Littlefuse
33	2	T1 T2	骨架，ER2510，水平，10个引脚		
34	1	U1	LinkSwitch-PH，eSIP	LNK409EG	Power Integrations
35	1	VR1	39 V，5%，150 mW，SSMINI-2	MAZS39000L	Panasonic

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

7 磁芯规格

7.1 T1变压器规格

7.1.1 电气原理图

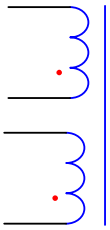


图9 – T1电气原理图

7.1.2 电气规格

初级电感量	引脚6 - 10，所有其他绕组开路，在66 kHz、0.4 V_{RMS}条件下测得	1.7 mH ±5%
谐振频率	引脚6-10，所有其他绕组开路	0.8 MHz（最小）

7.1.3 材料

项	说明
[1]	磁芯：ER2510
[2]	骨架：ER2510，垂直，10个引脚，5/5
[3]	漆包线：#29 AWG
[4]	漆包线：#33 AWG
[5]	胶带：3M 1298聚酯薄膜，4.5 mm宽

10

AWG#29 120T

6

1

AWG#33 60T

5

7.1.4 变压器结构图

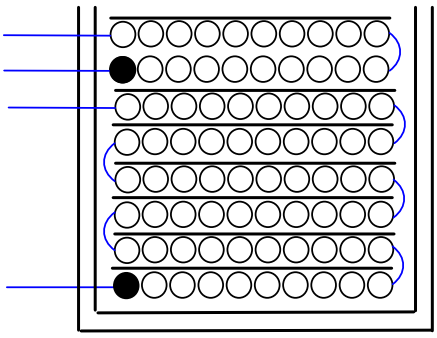


图10 – T1变压器结构图

7.2 T2电感规格

7.2.1 电气原理图

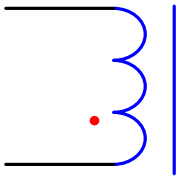


图11 – T2电感电气原理图

7.2.2 电气规格

初级电感量	引脚8 - 10，所有其他绕组开路，在66 kHz、0.4 V_{RMS}条件下测得	1.7 mH ±5%
谐振频率	引脚8-10，所有其他绕组开路	1 MHz（最小）

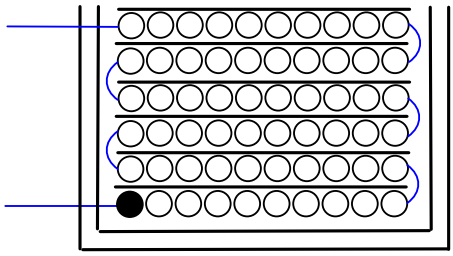
7.2.3 材料

项	说明
[1]	磁芯：ER2510
[2]	骨架：ER2510，垂直，10个引脚，5/5
[3]	漆包线：#29 AWG
[4]	胶带：3M 1298聚酯薄膜，4.5 mm宽

10

AWG#29 120T

7.2.4 电感结构图



8

图12 – T2电感结构图

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

7.3 L4 CMC规格

7.3.1 电气原理图

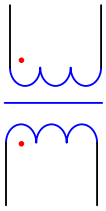


图13 – L4 CMC电气原理图

7.3.2 电气规格

电感(LCM)	引脚1-4或2-3。在100 kHz条件下测得	12 mH ±10%
漏电流(LL)	引脚1-4，引脚2-3短接，或在100 kHz条件下亦然	80 µH（最大）±20%
磁芯等效电感量		3795 nH/N²

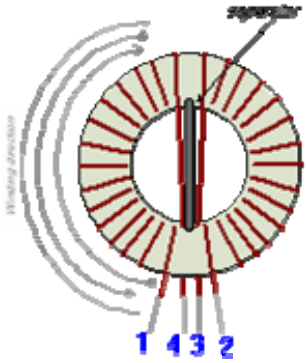
AWG#26 56T

2 3

7.3.3 材料

项	说明
[1]	螺线管磁芯：MN-ZN T14X9X5 R10K U1000；尺寸：OD:14.35 mm / ID:7.5mm / HT:5.3mm
[2]	漆包线：#28 AWG，Heavy Nyleze

7.3.4 电感结构图



1 4

AWG#26 56T

图14 – L4 CMC结构图

8 电感设计表格

降压-升压电感的参数可采用LinkSwitch-PH PIXls设计表格使用VO=VOR计算得出。对于串联扼流圈配置，Ae可乘以串联的扼流圈数。

ACDC_LinkSwitch-PH_011111；修订版1.2；版权所有 Power Integrations 2011	输入	信息	输出	单位	LinkSwitch-PH_011111：反激式变压器设计表格
输入应用变量					
需要调光	**无**		**无**		如果需要调光则选择“是”。否则，选择“否”。
VACMIN	180		180	V	最小AC输入电压
VACMAX			265	V	最大AC输入电压
fL			50	Hz	AC电网频率
VO	100.00			V	LED灯串满载时的典型输出电压
VO_MAX			110.00	V	最大预期LED灯串电压。
VO_MIN			90.00	V	最小预期LED灯串电压。
V_OVP			121.00	V	过压保护设定点
IO	0.25				典型满载LED电流
PO			25.0	W	输出功率
n	0.90		0.9		估计工作效率
VB			20	V	偏置电压
输入LinkSwitch-PH变量					
LinkSwitch-PH	**LNK419**			宽电压范围	115倍压/230V
所选器件		LNK419	输出功率	18W	8W
电流限流模式	**红色**		红色		选择“红色”设置为有限电流限制模式，或选择“完全”设置为完全电流限制模式。
ILIMITMIN			2.35	A	最小电流限制
ILIMITMAX			2.73	A	最大电流限制
fS			66000	Hz	开关频率
fSmin			62000	Hz	最小开关频率
fSmax			70000	Hz	最大开关频率
IV			78.4	uA	V引脚电流
RV	4.00		4	M-ohm	V引脚电阻上限
RV2			1.402	M-ohm	V引脚电阻下限
IFB	150.00		150.0	uA	FB引脚电流(85 uA < IFB < 210 uA)
RFB1			113.3	k-ohm	FB引脚电阻
VDS			10	V	LinkSwitch-PH导通状态漏-源极电压
VD	0.50			V	输出绕组二极管正向电压降（对肖特基二极管取值0.5 V，对PN结二极管取值0.8 V）
VDB	0.70			V	偏置绕组二极管正向电压降
关键设计参数					
KP	0.48		0.48		纹波电流与峰值电流的比例（PF > 0.9时，0.4 < KP < 0.9）
LP			3375	uH	初级电感量
VOR	100.00		100	V	反射输出电压。
预期IO（平均）			0.25	A	预期平均输出电流
KP_VACMAX			0.51		在VACMAX时的预期纹波电流比率
TON_MIN			3.19	us	最高AC输入电压时的最大导通时间
PCLAMP			0.35	W	初级箝位的估计损耗
输入变压器磁芯/结构变量					
磁芯类型	**ER2510**		**ER2510**		
骨架		不适用		P/N：	不适用
AE	0.9490		0.949	cm^2	磁芯等效截面积

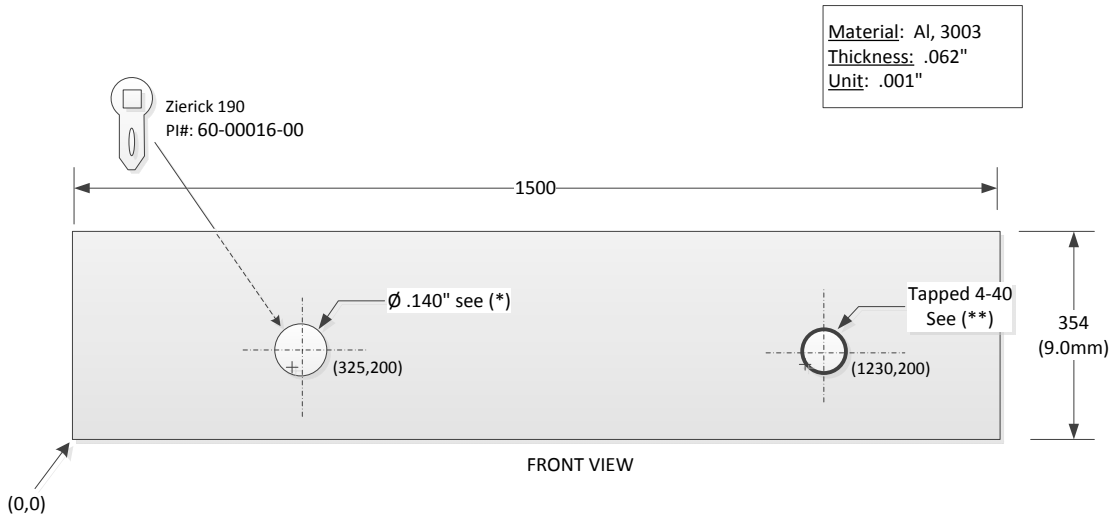
Power Integrations
电话：+1 408 414 9200 传真：+1 408 414 9201
www.powerint.com

LE	2.1400		2.14	cm	磁芯等效路径长度
AL			不适用	nH/T^2	无气隙磁芯等效电感量
BW	4.5		4.5	mm	骨架绕线宽度
M			0	mm	安全挡墙宽度（初级至次级爬电距离的一半）
L	10.00		10		初级绕组层数
NS	121		121		次级绕组匝数
DC输入电压参数					
VMIN			255	V	对应于VACMIN的峰值输入电压
VMAX			375	V	对应于VACMAX的峰值输入电压
电流波形参数					
DMAX			0.29		对应于VACMIN峰值的最小占空比
IAVG			0.18	A	平均初级电流
IP			0.96	A	峰值初级电流（在最小输入电压VACMIN下计算）
IRMS			0.33	A	初级RMS电流（在最小输入电压VACMIN下计算）
变压器初级绕组设计参数					
LP			3375	uH	初级电感量
NP			120		初级绕组匝数
NB			25		偏置绕组匝数
ALG			233	nH/T^2	带气隙磁芯等效电感量
BM			2850	高斯	PO的最大磁通密度，VMIN (BM<3100)
BP			3448	高斯	峰值磁通密度(BP<3700)
BAC			684	高斯	磁芯损耗曲线中的AC磁通密度（0.5 X 峰值-峰值）
ur			不适用		无气隙磁芯的相对磁导率
LG		不适用	不适用	mm	不适用
BWE			45	mm	等效骨架宽度
OD			0.37	mm	初级绕组最大线径（包括绝缘层）
INS			0.06	mm	估计的总绝缘层厚度（= 2 * 膜厚度）
DIA			0.32	mm	裸线直径
AWG			29	AWG	初级绕组的导线规格（如果计算出的线径在两种标准线径之间，则使用较小线规的导线）
CM			128	Cmil	以Cmil为单位的裸线等效面积
CMA			392	Cmil/Amp	初级绕组电流容量(200 < CMA < 600)
LP_TOL			10		初级电感量容差
变压器次级绕组设计参数（多路输出）					
汇总参数					
ISP			0.96	A	峰值次级电流
ISRMS			0.47	A	次级RMS电流
IRIPPLE			0.40	A	输出电容RMS纹波电流
CMS			94	Cmil	次级绕组裸线最小Cmil数
AWGS			30	AWG	次级导线规格（舍入到下一个较大的标准AWG值）
DIAS			0.26	mm	次级绕组裸线最小直径
ODS			0.04	mm	三层绝缘线的次级绕组最大外径
电压应力参数					
VDRAIN			582	V	假定LED灯串电压达到最大时的估计最大漏极电压（包括漏感效应）
PIVS			498	V	输出整流器最大反向峰值电压（在VOVP下计算，不包括漏感尖峰）
PIVB			102	V	偏置整流器最大反向峰值电压（在VOVP下计算，不包括漏感尖峰）
微调（输入从原型测得的值）					
V引脚电阻微调					
RV1	4		4.00	M-ohm	V引脚电阻值上限
RV2	100		100.00	M-ohm	V引脚电阻值下限

VAC1	180		180.0	V	测试输入电压条件1
VAC2	265		265.0	V	测试输入电压条件2
IO_VAC1	0.253		0.25	A	在VAC1时测得的输出电流
IO_VAC2	0.231		0.23	A	在VAC2时测得的输出电流
RV1（新）			4.00	M-ohm	新RV1
RV2（新）			100.00	M-ohm	新RV2
V_OV			319.6	V	触发OV关断的典型AC输入电压
V_UV			66.4	V	超过此值即可使电源启动的典型AC输入电压
FB引脚电阻微调					
RFB1			113	k-ohm	FB引脚电阻值上限
RFB2			1E+012	k-ohm	FB引脚电阻值下限
VB1			17.9	V	测试偏置电压条件1
VB2			22.1	V	测试偏置电压条件2
IO1			0.25	A	在Vb1时测得的输出电流
IO2			0.25	A	在Vb2时测得的输出电流
RFB1（新）			113.3	k-ohm	新RFB1
RFB2（新）			1.00E+12	k-ohm	新RFB2

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

9 U1散热片尺寸



(*): this hole for Zierick 190 (PI#:60-00016-00) to be inserted from the back.
(**): use with:
- Clip TRK-24, PI#: 60-00037-00
- Screw 4-40x3/16 “, PI#: 75-00089-00.
- Washer #4, PI#: 75-00164-00

图15 – U1散热片尺寸

10 性能数据

以下数据采用3组负载（代表97 V ~ 103 V输出负载范围的33、34和35 LED灯串）汇编而成。请参见10.6节的表格以了解整套测试数据。所有测量均在室温下进行。

10.1 效率

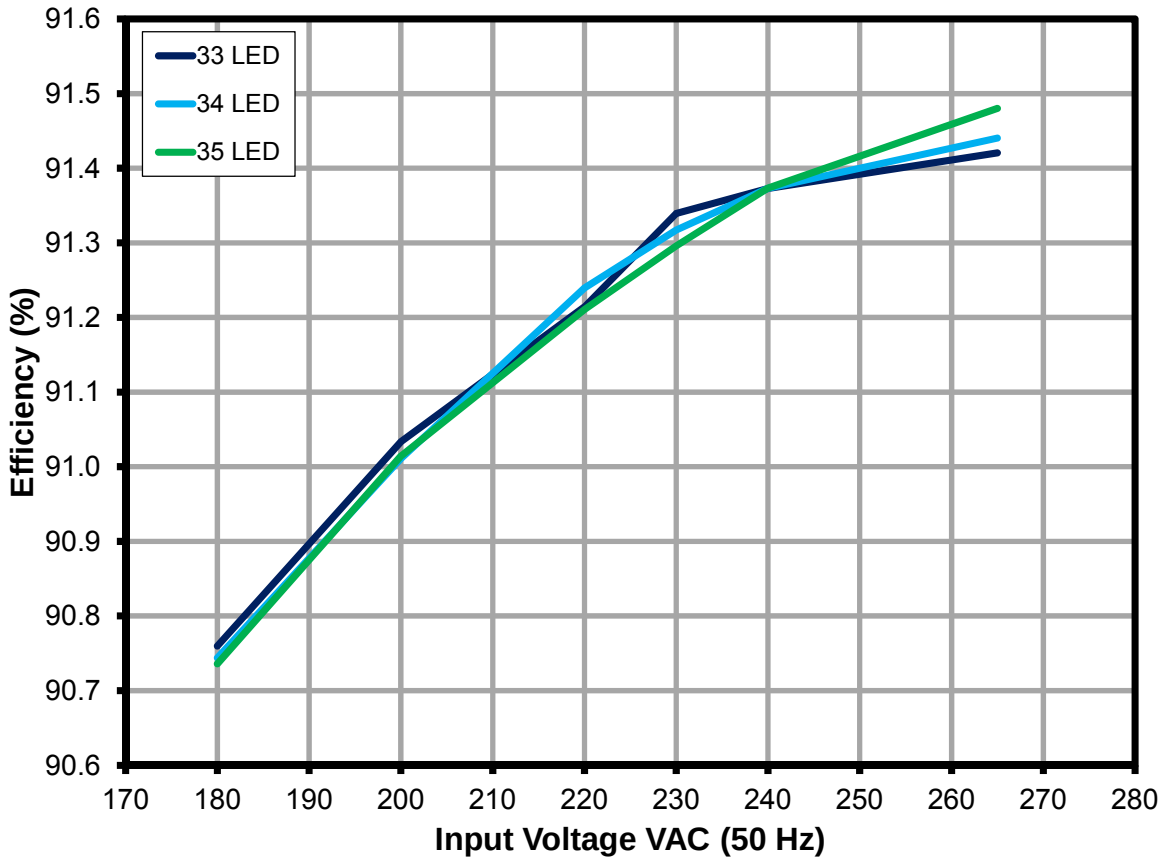


图16 – 效率随输入电压和负载的变化

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

10.2 输入电压调整率和负载调整率

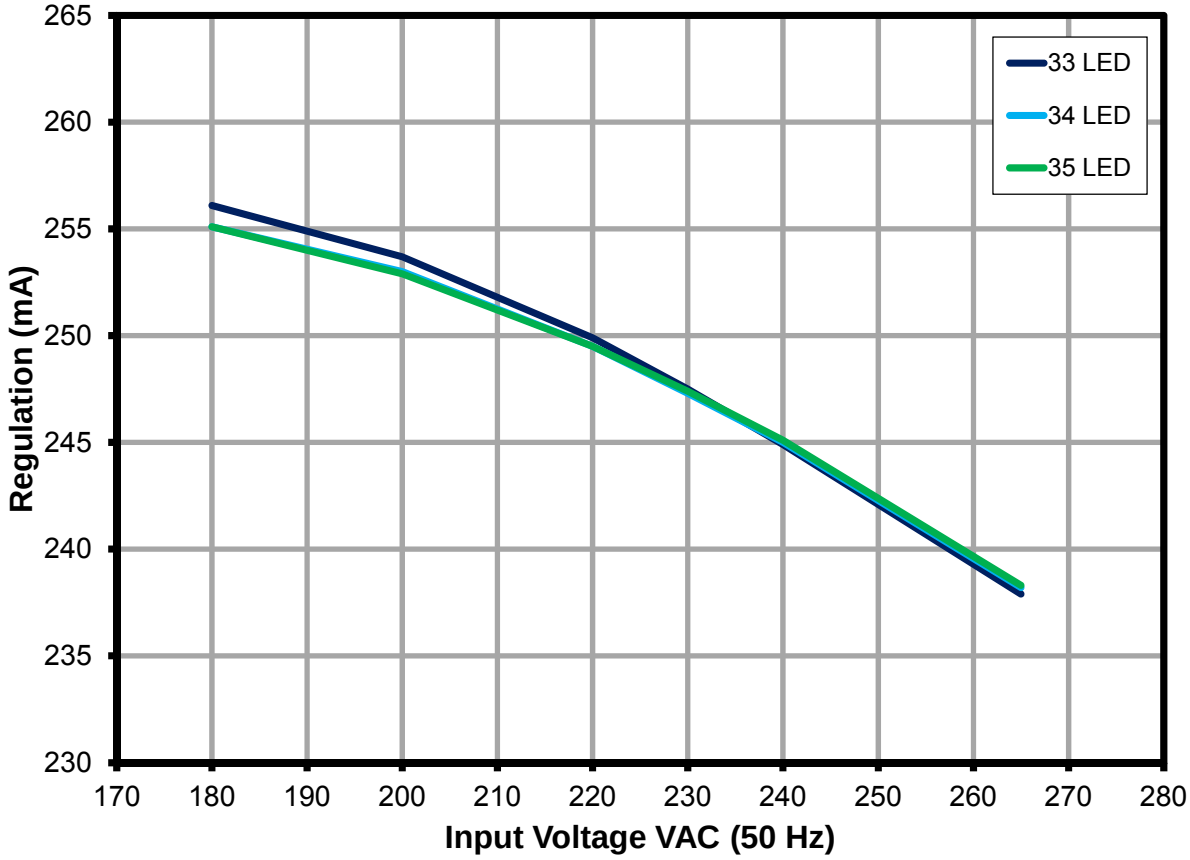


图17 – 调整率随输入电压和负载的变化

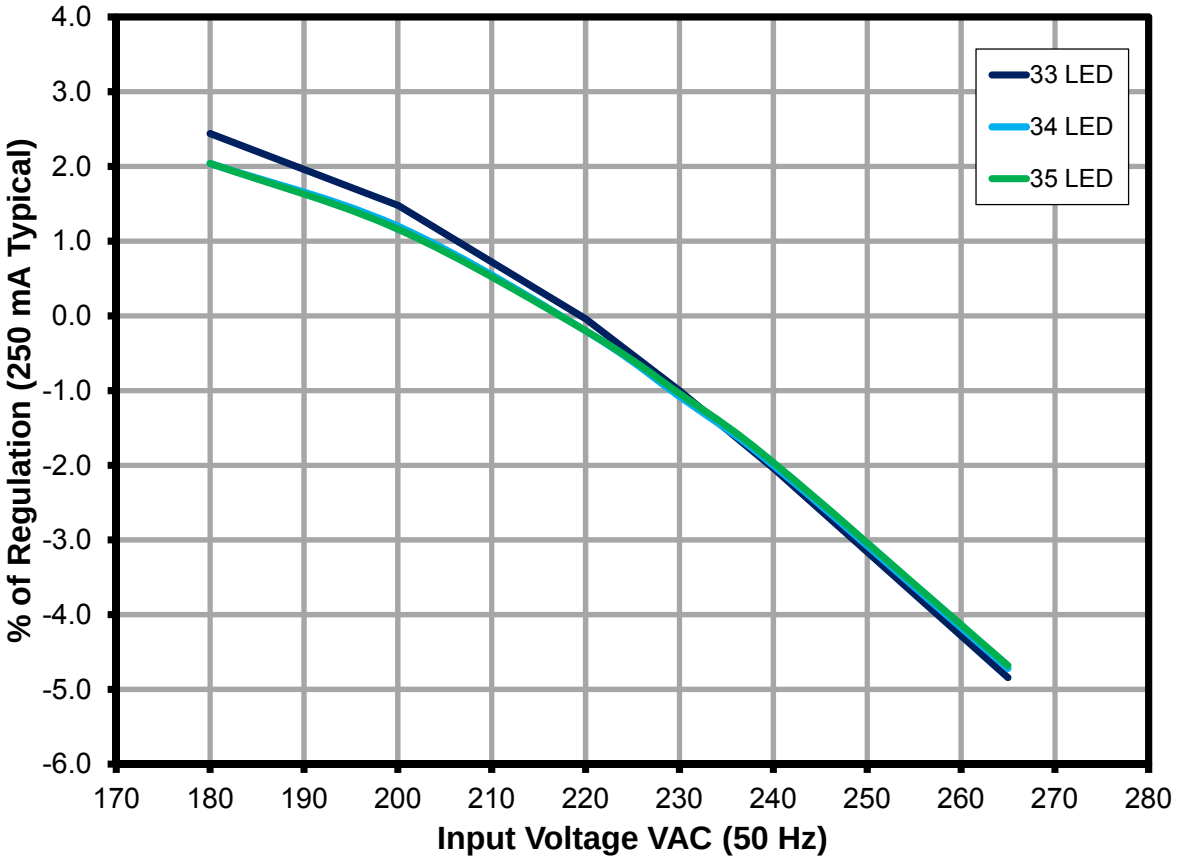


图18 – 输入电压/负载调整率百分比

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

10.3 功率因数

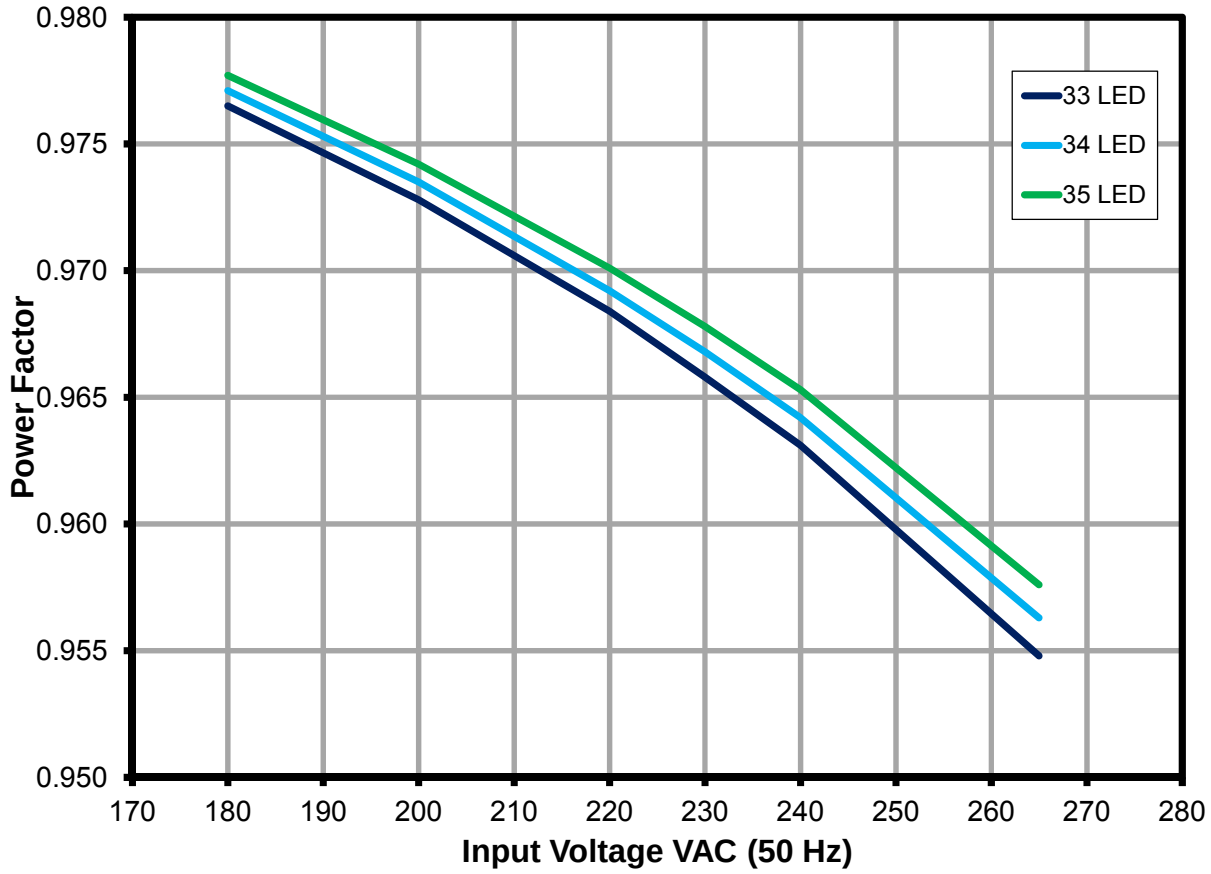


图19 – 功率因数随输入电压和负载的变化

10.4 A-THD

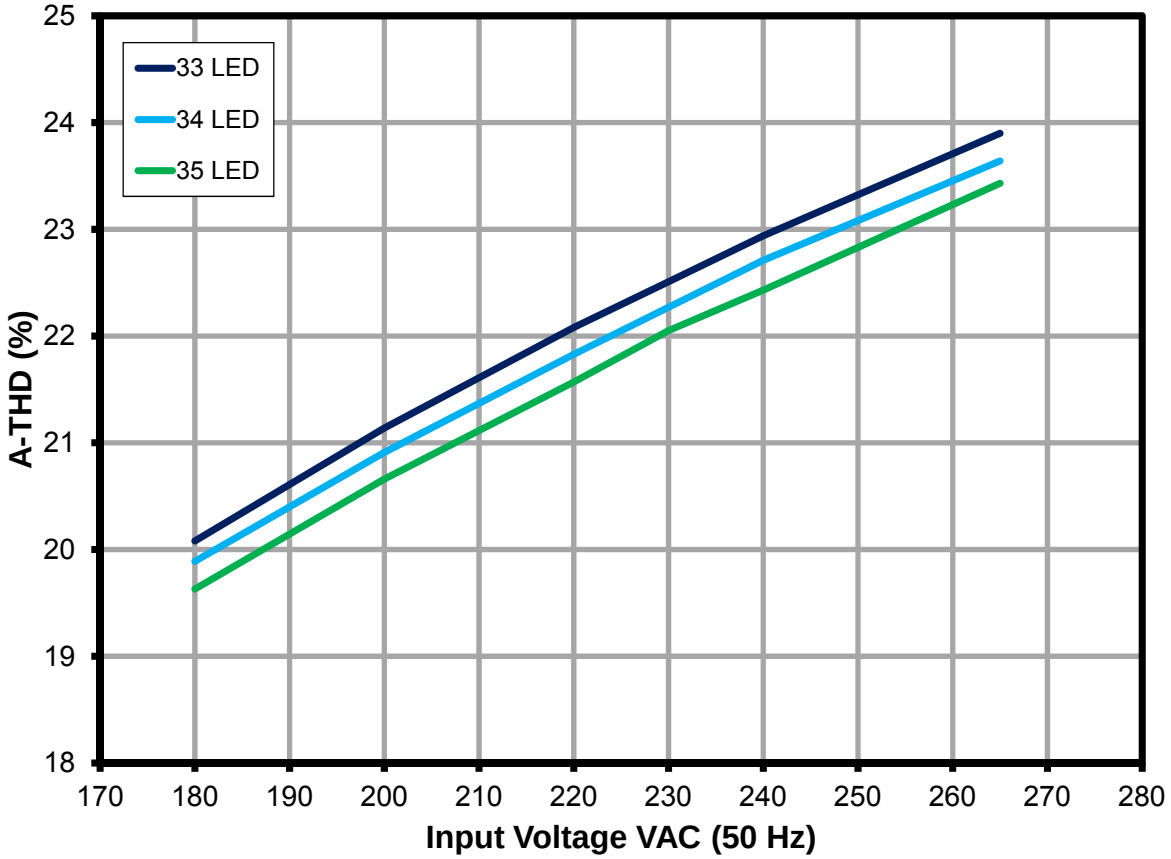


图20 – A-THD随输入电压和负载的变化

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

10.5 谐波

10.5.1 33 LED负载

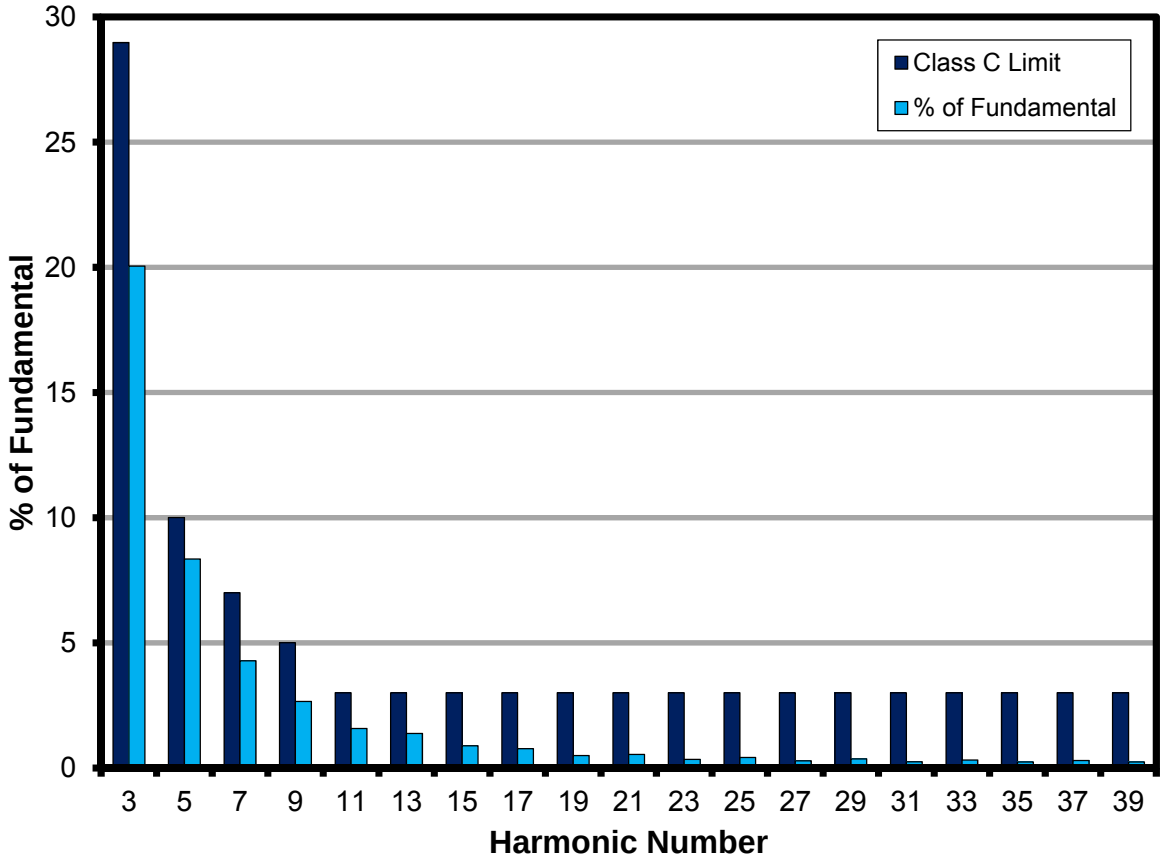


图21 – 33 LED负载在230 VAC、50 Hz下的输入电流谐波

10.5.2 34 LED负载

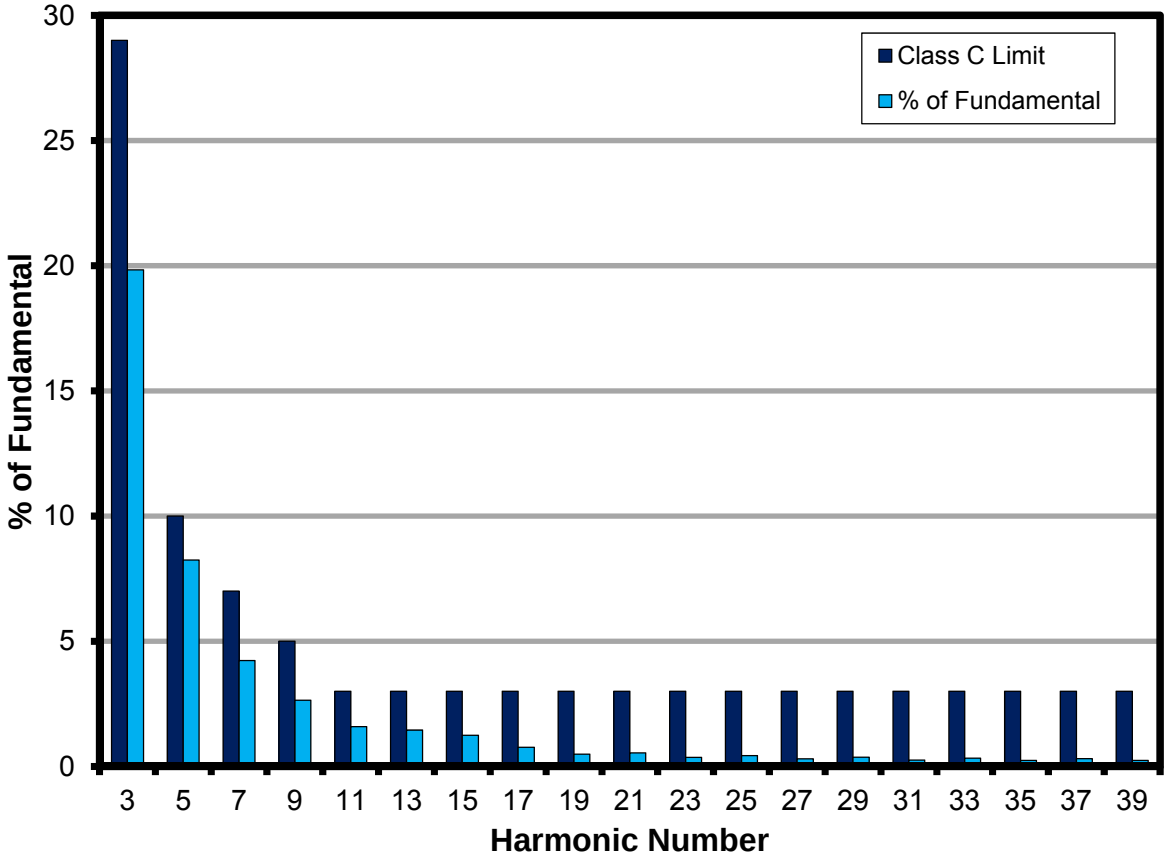


图22 – 34 LED负载在230 VAC、50 Hz下的输入电流谐波

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

10.5.3 35 LED负载

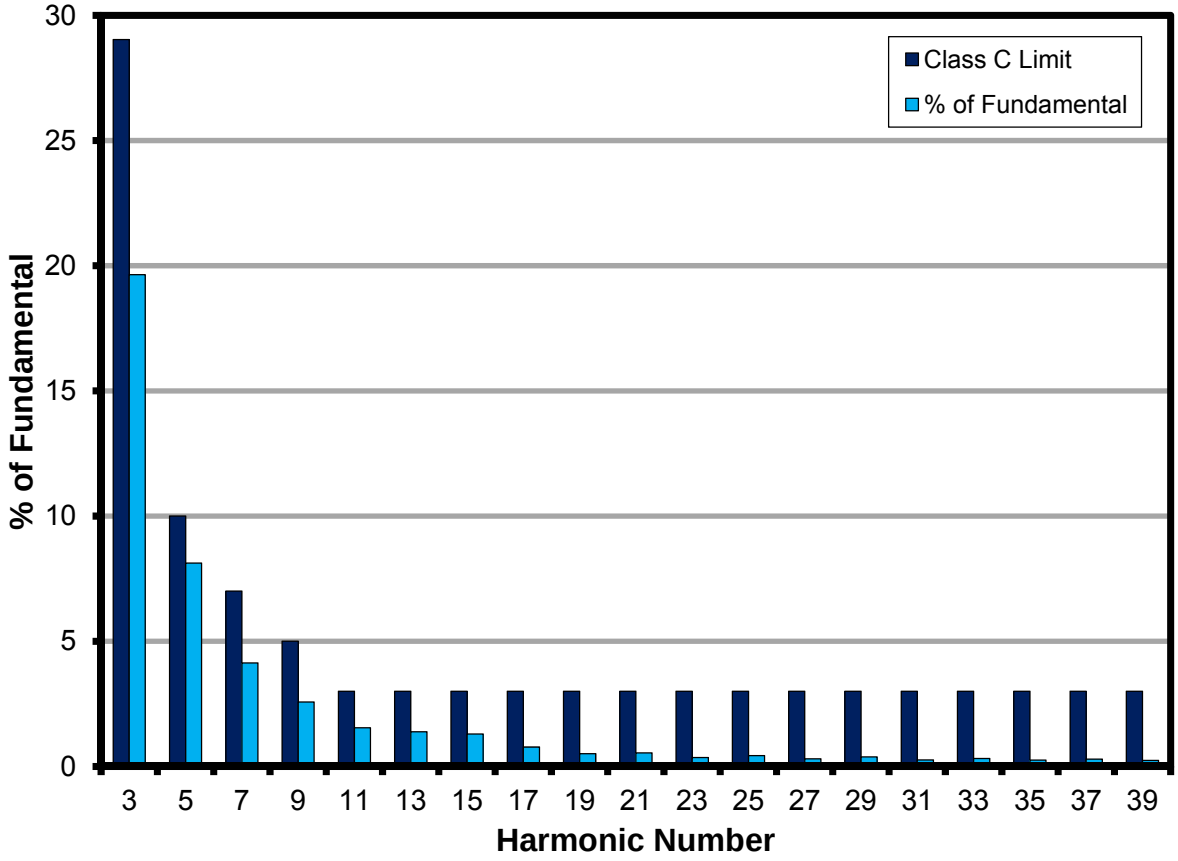


图23 – 35 LED负载在230 VAC、50 Hz下的输入电流谐波

10.6 测试数据

所有测量均在25 °C环境温度和50 Hz工频下进行，测量对象为敞开式电路板。

10.6.1 测试数据，33 LED负载

输入测量					负载测量			计算			
V_{IN} (V_{RMS})	I_{IN} (mA_{RMS})	P_{IN} (W)	PF	%ATHD	V_{OUT} (V_{DC})	I_{OUT} (mA_{DC})	P_{OUT} (W)	P_{CAL} (W)	效率 (%)	损耗 (W)	调整率(%)
179.99	155.90	27.40	0.977	20.08	97.00	256.10	24.87	24.84	90.76	2.53	2.4%
200.02	138.89	27.02	0.973	21.14	96.80	253.70	24.60	24.56	91.03	2.42	1.5%
220.04	124.46	26.52	0.968	22.08	96.70	249.90	24.19	24.17	91.21	2.33	0.0%
230.09	117.90	26.20	0.966	22.51	96.50	247.50	23.93	23.88	91.34	2.27	-1.0%
240.05	111.96	25.88	0.963	22.94	96.40	244.90	23.65	23.61	91.37	2.23	-2.0%
265.07	99.06	25.07	0.955	23.9	96.20	237.90	22.92	22.89	91.42	2.15	-4.8%

10.6.2 测试数据，34 LED负载

输入测量					负载测量			计算			
V_{IN} (V_{RMS})	I_{IN} (mA_{RMS})	P_{IN} (W)	PF	%ATHD	V_{OUT} (V_{DC})	I_{OUT} (mA_{DC})	P_{OUT} (W)	P_{CAL} (W)	效率 (%)	损耗 (W)	调整率(%)
180.00	159.66	28.08	0.977	19.89	99.70	255.10	25.48	25.43	90.74	2.60	2.0%
200.02	142.37	27.72	0.974	20.91	99.60	253.00	25.23	25.20	91.01	2.49	1.2%
220.04	127.76	27.25	0.969	21.83	99.50	249.50	24.86	24.83	91.24	2.39	-0.2%
230.09	121.15	26.95	0.967	22.27	99.40	247.30	24.61	24.58	91.32	2.34	-1.1%
240.05	115.13	26.65	0.964	22.71	99.30	245.00	24.35	24.33	91.37	2.30	-2.0%
265.07	101.94	25.84	0.956	23.64	99.10	238.20	23.63	23.61	91.44	2.21	-4.7%

10.6.3 测试数据，35 LED负载

输入测量					负载测量			计算			
V_{IN} (V_{RMS})	I_{IN} (mA_{RMS})	P_{IN} (W)	PF	%ATHD	V_{OUT} (V_{DC})	I_{OUT} (mA_{DC})	P_{OUT} (W)	P_{CAL} (W)	效率 (%)	损耗 (W)	调整率(%)
179.99	164.15	28.89	0.978	19.63	102.60	255.10	26.21	26.17	90.74	2.68	2.0%
200.01	146.33	28.51	0.974	20.66	102.50	252.90	25.95	25.92	91.01	2.56	1.2%
220.03	131.28	28.02	0.970	21.57	102.30	249.50	25.56	25.52	91.21	2.46	-0.2%
230.08	124.55	27.73	0.968	22.05	102.20	247.40	25.32	25.28	91.30	2.41	-1.0%
240.05	118.36	27.43	0.965	22.43	102.10	245.10	25.06	25.02	91.37	2.37	-2.0%
265.06	104.73	26.59	0.958	23.43	101.90	238.30	24.32	24.28	91.48	2.27	-4.7%

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

10.6.4 230 VAC 50 Hz，33 LED负载谐波数据

F (Hz)	V_{IN} (V)	I (mA)	P_{IN}(W)	PF	%THD
49.998	230.08	118.27	26.28	0.9659	22.5
	n阶	mA含量	基频百分比(%)	Class C限值	备注
	1	115.06			
	3	23.07	20.05%	29.0%	通过
	5	9.61	8.35%	10.0%	通过
	7	4.93	4.28%	7.0%	通过
	9	3.06	2.66%	5.0%	通过
	11	1.82	1.58%	3.0%	通过
	13	1.59	1.38%	3.0%	通过
	15	1.02	0.89%	3.0%	通过
	17	0.89	0.77%	3.0%	通过
	19	0.57	0.50%	3.0%	通过
	21	0.62	0.54%	3.0%	通过
	23	0.4	0.35%	3.0%	通过
	25	0.49	0.43%	3.0%	通过
	27	0.33	0.29%	3.0%	通过
	29	0.42	0.37%	3.0%	通过
	31	0.29	0.25%	3.0%	通过
	33	0.37	0.32%	3.0%	通过
	35	0.28	0.24%	3.0%	通过
	37	0.35	0.30%	3.0%	通过
	39	0.28	0.24%	3.0%	通过

10.6.5 230 VAC 50 Hz，34 LED负载谐波数据

F (Hz)	V_{IN} (V)	I (mA)	P_{IN}(W)	PF	%THD
49.998	230.08	121.39	27	0.9669	22.27
	n阶	mA含量	基频百分比(%)	Class C限值	备注
	1	118.23			
	3	23.45	19.83%	29.0%	通过
	5	9.75	8.25%	10.0%	通过
	7	5	4.23%	7.0%	通过
	9	3.13	2.65%	5.0%	通过
	11	1.88	1.59%	3.0%	通过
	13	1.72	1.45%	3.0%	通过
	15	1.47	1.24%	3.0%	通过
	17	0.9	0.76%	3.0%	通过
	19	0.58	0.49%	3.0%	通过
	21	0.64	0.54%	3.0%	通过
	23	0.43	0.36%	3.0%	通过
	25	0.51	0.43%	3.0%	通过
	27	0.36	0.30%	3.0%	通过
	29	0.44	0.37%	3.0%	通过
	31	0.3	0.25%	3.0%	通过
	33	0.39	0.33%	3.0%	通过
	35	0.29	0.25%	3.0%	通过
	37	0.37	0.31%	3.0%	通过
	39	0.29	0.25%	3.0%	通过

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

10.6.6 230 VAC 50 Hz，35 LED负载谐波数据

F (Hz)	V_{IN} (V)	I (mA)	P_{IN}(W)	PF	%THD
49.998	230.08	124.87	27.81	0.9679	22.03
	n阶	mA含量	基频百分比(%)	Class C限值	备注
	1	121.68			
	3	23.9	19.64%	29.0%	通过
	5	9.89	8.13%	10.0%	通过
	7	5.03	4.13%	7.0%	通过
	9	3.13	2.57%	5.0%	通过
	11	1.88	1.55%	3.0%	通过
	13	1.68	1.38%	3.0%	通过
	15	1.58	1.30%	3.0%	通过
	17	0.94	0.77%	3.0%	通过
	19	0.62	0.51%	3.0%	通过
	21	0.66	0.54%	3.0%	通过
	23	0.43	0.35%	3.0%	通过
	25	0.52	0.43%	3.0%	通过
	27	0.37	0.30%	3.0%	通过
	29	0.46	0.38%	3.0%	通过
	31	0.32	0.26%	3.0%	通过
	33	0.39	0.32%	3.0%	通过
	35	0.3	0.25%	3.0%	通过
	37	0.36	0.30%	3.0%	通过
	39	0.29	0.24%	3.0%	通过

11 波形

11.1 输入线电流

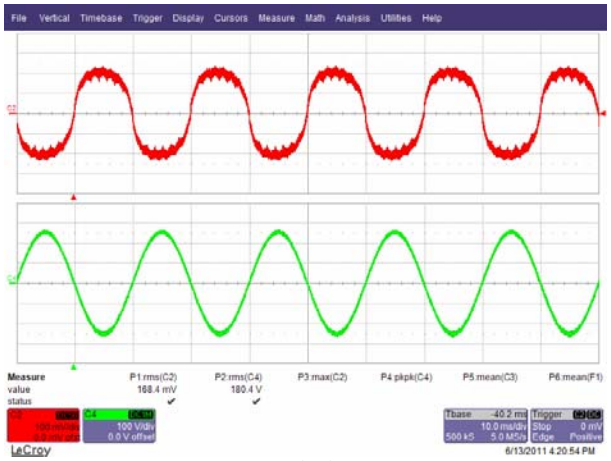


图24 – 180 VAC 50 Hz，满载
上：I_{IN}，100 mA/格
下：V_{IN}，100 V，10 ms/格

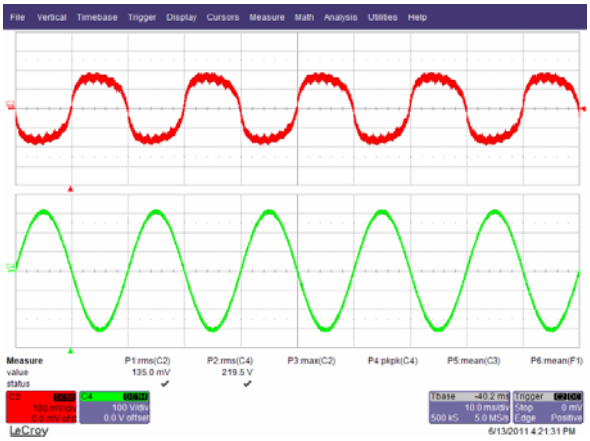


图25 – 220 VAC 50 Hz，满载
上：I_{IN}，100 mA/格
下：V_{IN}，100 V，10 ms/格

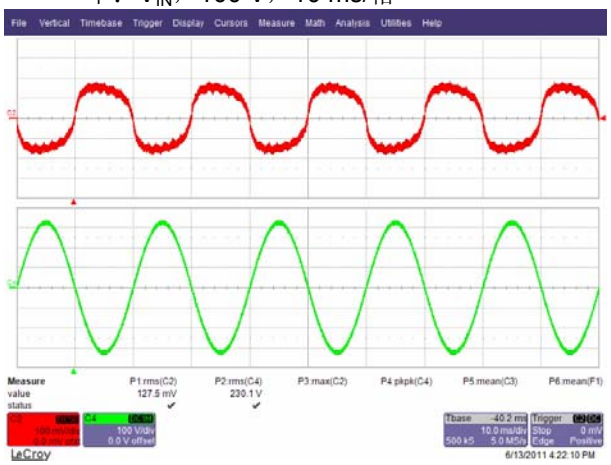


图26 – 230 VAC 50 Hz，满载
上：I_{IN}，100 mA/格
下：V_{IN}，100 V，10 ms/格

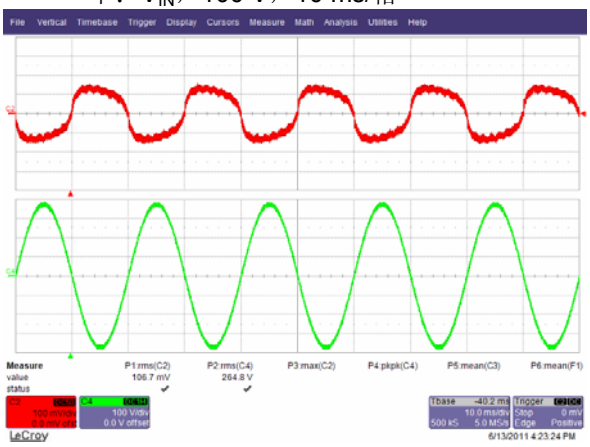


图27 – 265 VAC 50 Hz，满载
上：I_{IN}，100 mA/格
下：V_{IN}，100 V，10 ms/格

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

11.2 漏极电压和电流正常工作

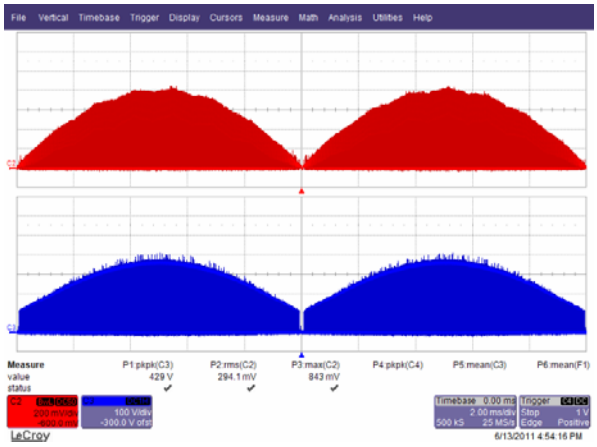


图28 – 180 VAC 50 Hz，满载
上：I_{DRAIN}，200 mA/格
下：V_{DRAIN}，100 V，2 ms/格

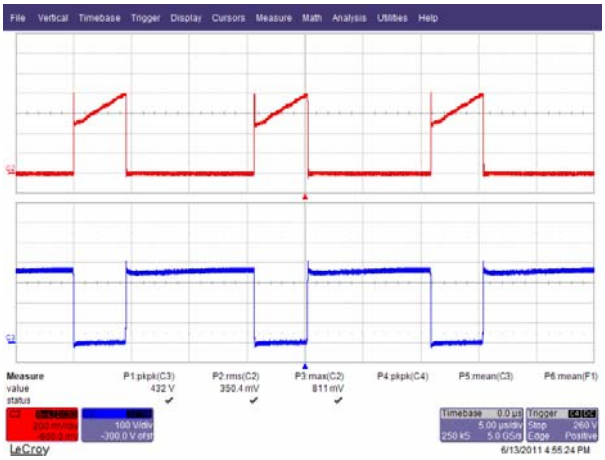


图29 – 180 VAC 50 Hz，满载
上：I_{DRAIN}，200 mA/格
下：V_{DRAIN}，100 V，5 µs/格

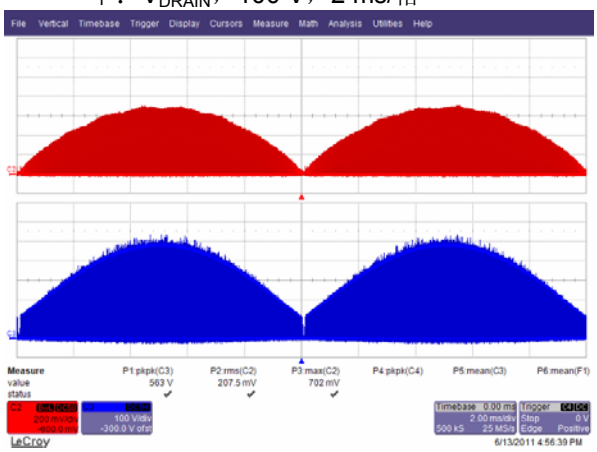


图30 – 265 VAC 50 Hz，满载
上：I_{DRAIN}，200 mA/格
下：V_{DRAIN}，100 V，2 ms/格

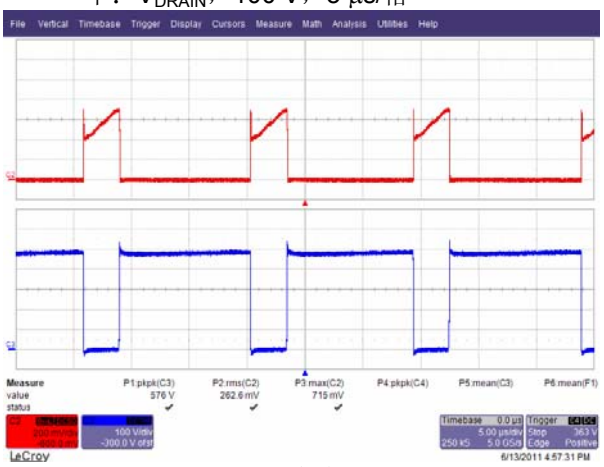


图31 – 265 VAC 50 Hz，满载
上：I_{DRAIN}，200 mA/格
下：V_{DRAIN}，100 V，5 µs/格

11.3 漏极电压和电流启动工作

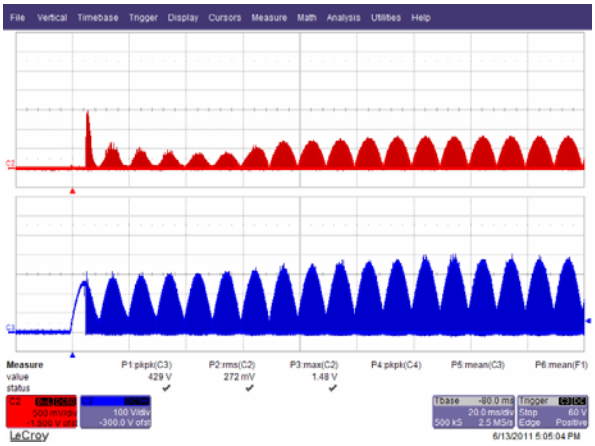


图32 – 180 VAC 50 Hz，满载启动
上：I_{DRAIN}，500 mA/格
下：V_{DRAIN}，100 V，20 ms/格

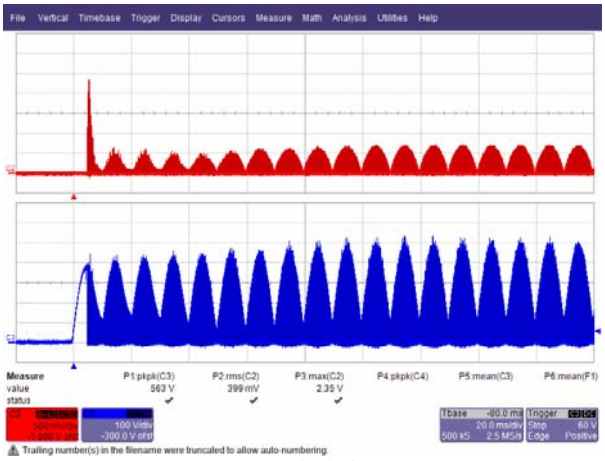


图33 – 265 VAC 50 Hz，满载启动
上：I_{DRAIN}，500 mA/格
下：V_{DRAIN}，100 V，20 ms/格

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

11.4 输出电流和输出电压

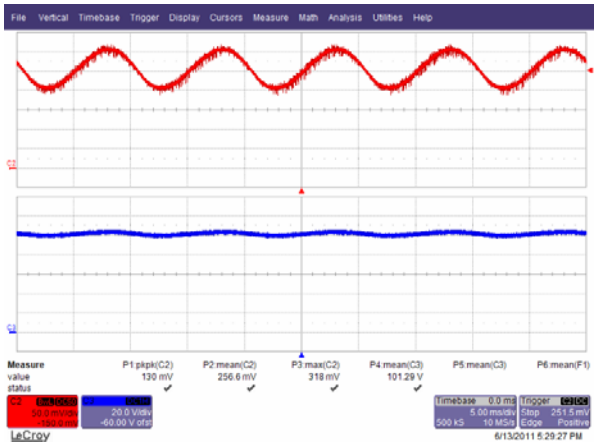


图34 – 180 VAC 50 Hz，满载
上：I_{OUT}，100 mA/格
下：V_{OUT}，20 V，5 ms/格

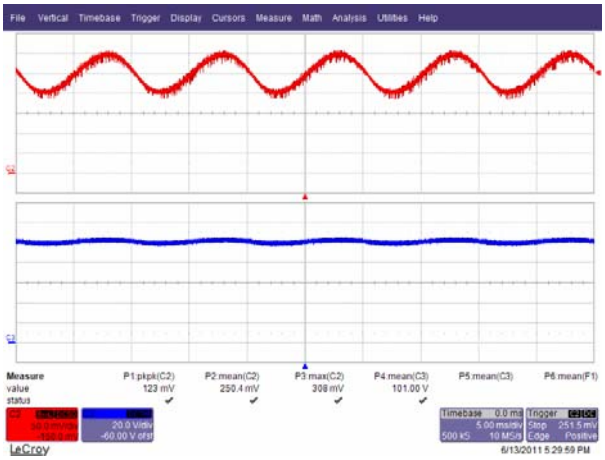


图35 – 220 VAC 50 Hz，满载
上：I_{OUT}，100 mA/格
下：V_{OUT}，20 V，5 ms/格

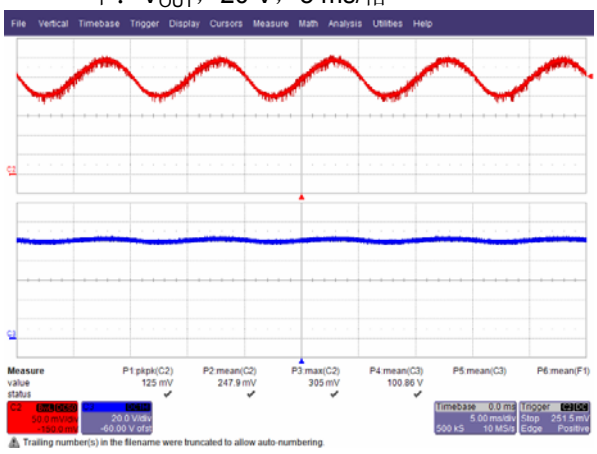


图36 – 230 VAC 50 Hz，满载
上：I_{OUT}，100 mA/格
下：V_{OUT}，20 V，5 ms/格

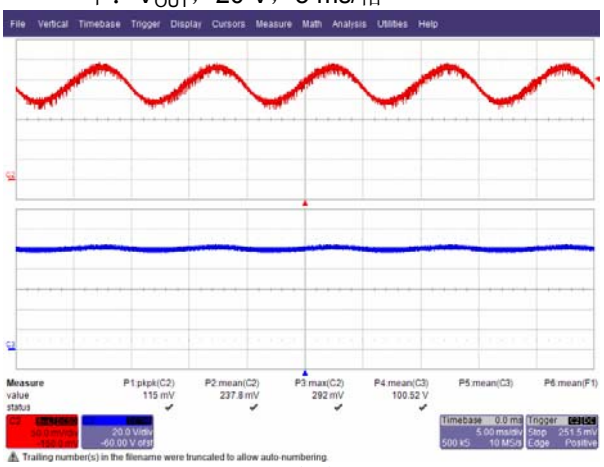


图37 – 265 VAC 50 Hz，满载
上：I_{OUT}，100 mA/格
下：V_{OUT}，20 V，5 ms/格

11.5 上电和断电时的输出电流和电压

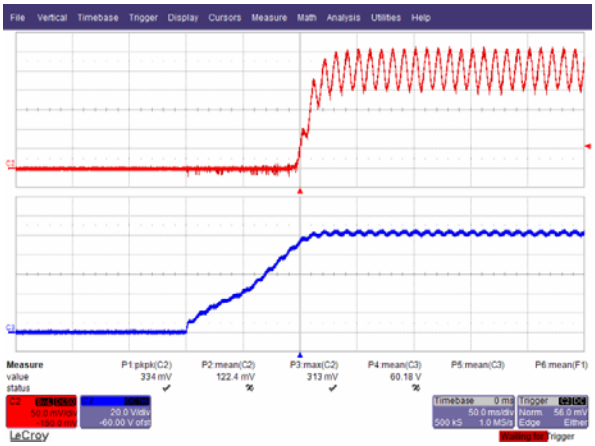


图38 – 180 VAC 50 Hz，输出上升
上：I_{OUT}，100 mA/格
下：V_{OUT}，20 V，100 ms/格

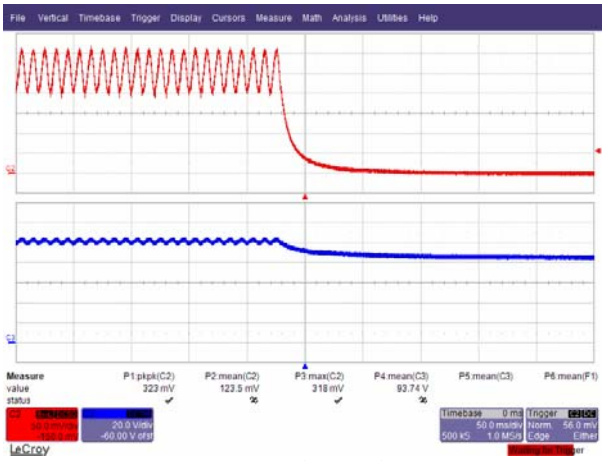


图39 – 180 VAC 50 Hz，输出下降
上：I_{OUT}，100 mA/格
下：V_{OUT}，20 V，100 ms/格

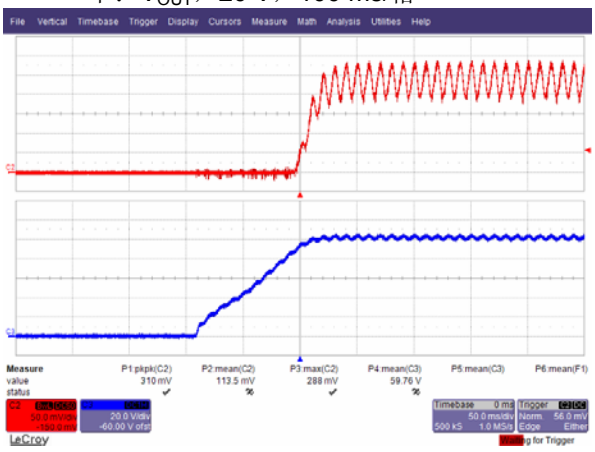


图40 – 265 VAC 50 Hz，输出上升
上：I_{OUT}，100 mA/格
下：V_{OUT}，20 V，100 ms/格

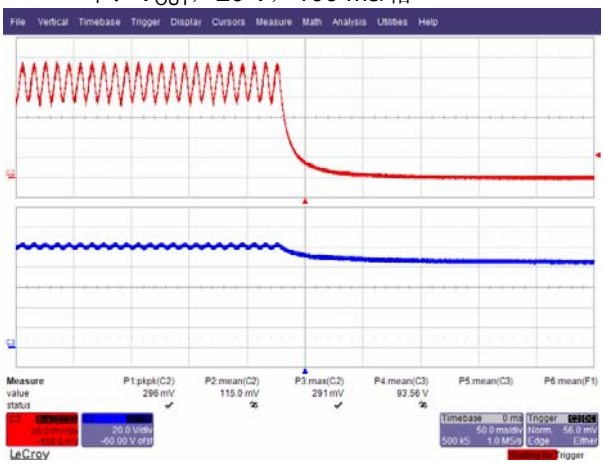


图41 – 265 VAC 50 Hz，输出下降
上：I_{OUT}，100 mA/格
下：V_{OUT}，20 V，100 ms/格

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

11.6 输出短路

图42 – 265 VAC 50 Hz，输出短路
上：I_{DRAIN}，0.5 A/格
下：V_{DRAIN}，100 V，1 s/格

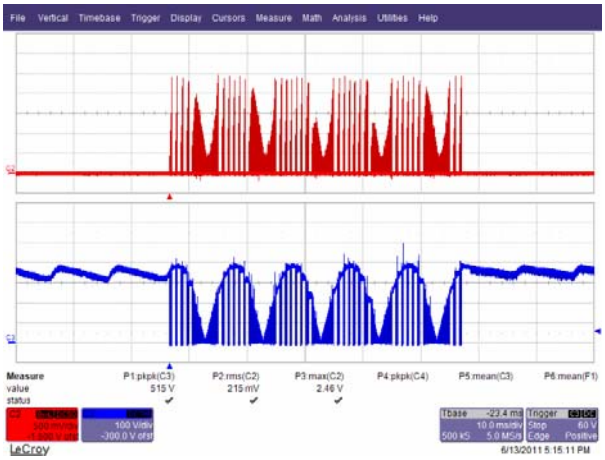


图43 – 265 VAC 50 Hz，输出短路
上：I_{DRAIN}，0.5 A/格
下：V_{DRAIN}，100 V，10 ms/格

11.7 开路负载

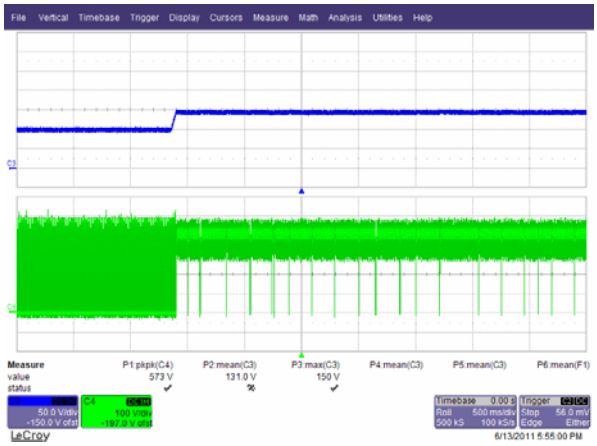


图44 – 265 VAC 50 Hz，开路负载
上：I_{DRAIN}，0.5 A/格
下：V_{DRAIN}，100 V，1 s/格

图45 – 265 VAC 50 Hz，开路负载启动
上：I_{DRAIN}，0.5 A/格
下：V_{DRAIN}，100 V，10 ms/格

12 热测量

热测量时测量设备(EUT)工作在室温下、34个串联LED 灯在230 VAC和50 Hz线输入下工作。

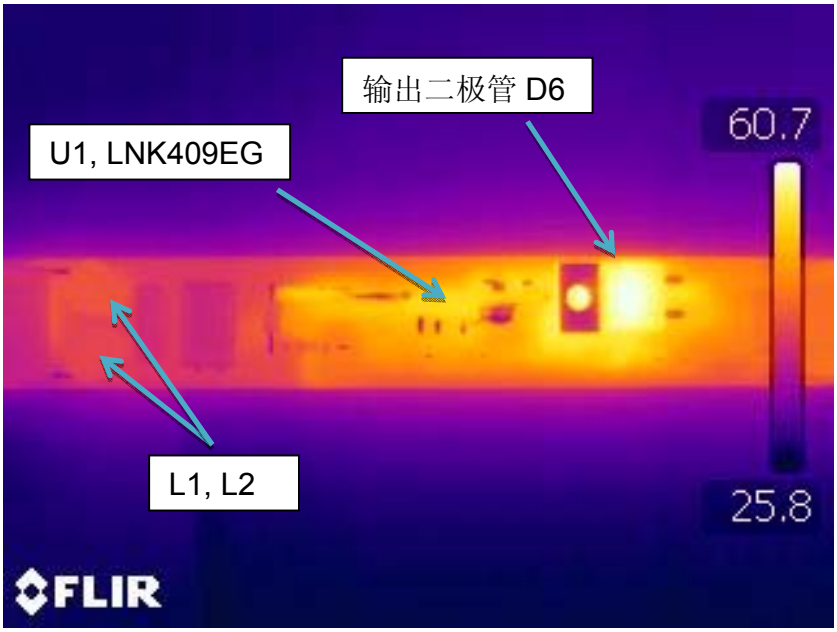


图46 – 顶侧（前）热测量

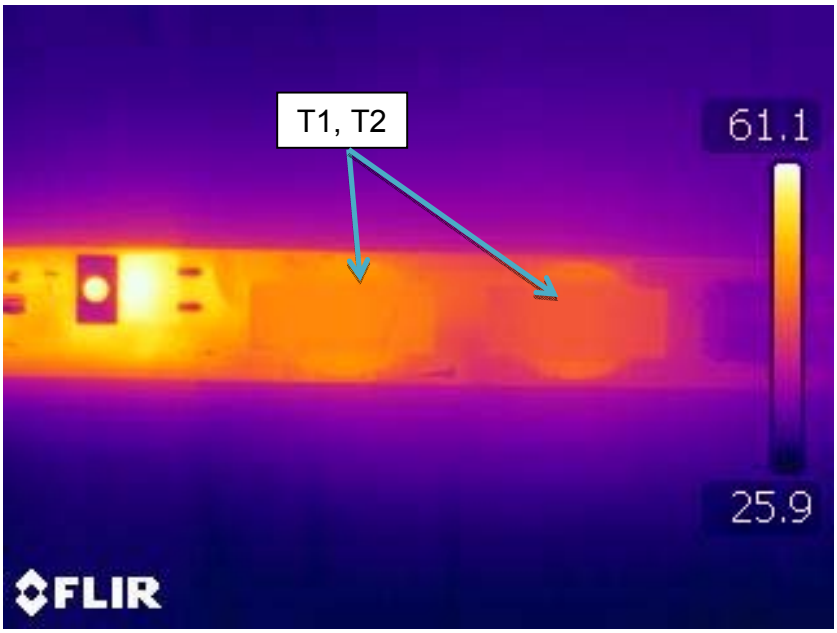


图47 – 顶侧（中）热测量

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

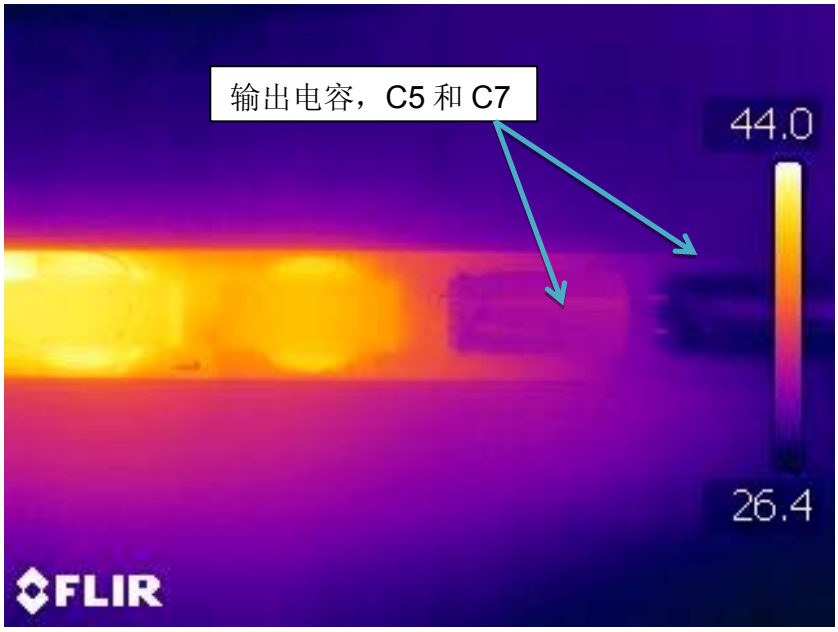


图48 – 顶侧（尾）热测量

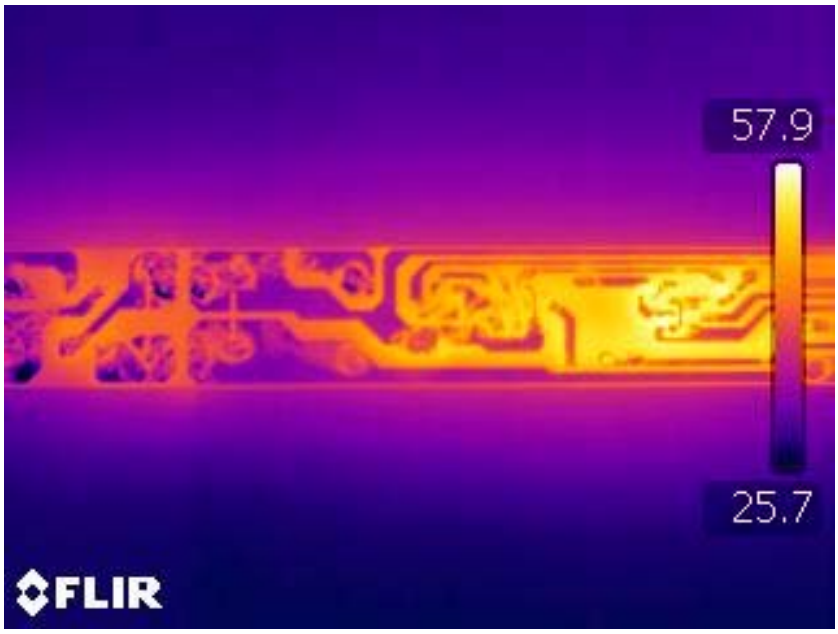


图49 – 底侧（前）热测量

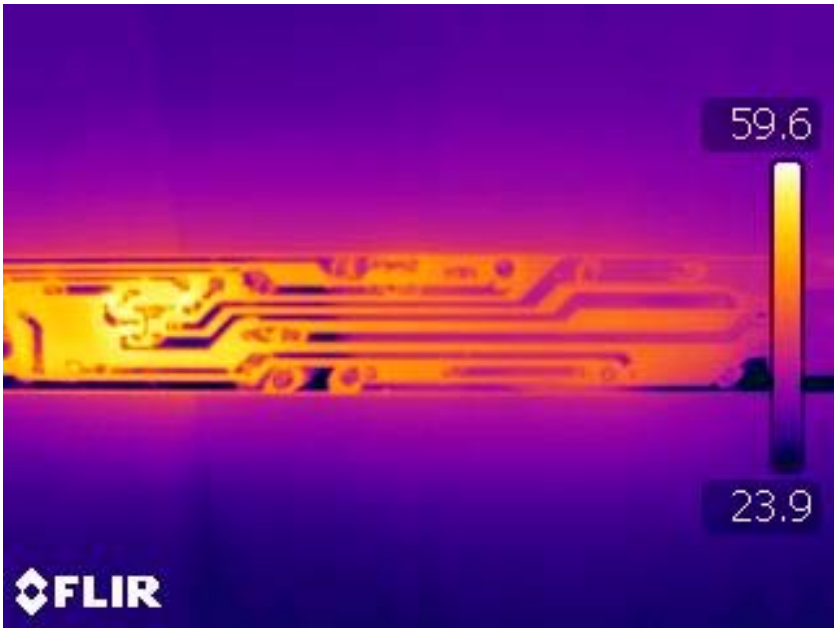


图50 – 底侧（中）热测量

图51 – 底侧（尾）热测量

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

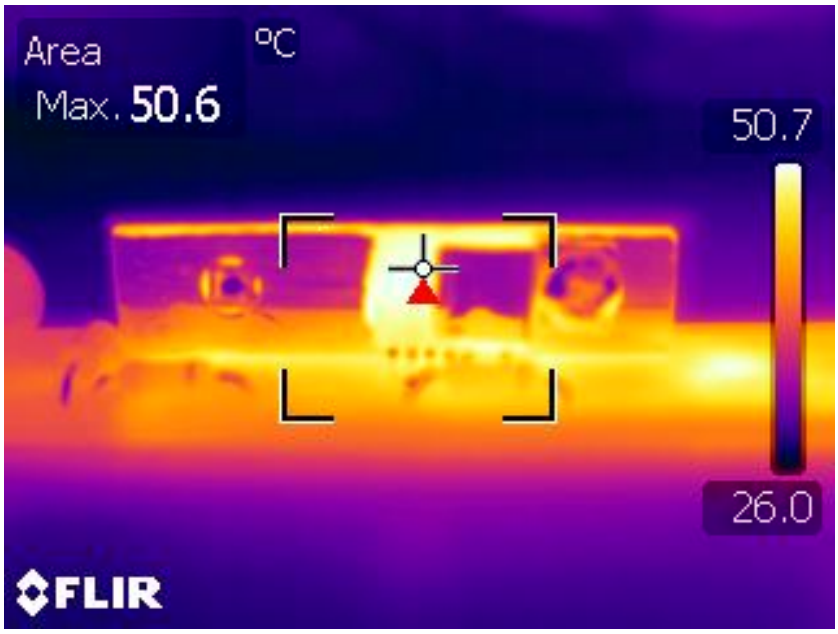


图52 – 在230 VAC、50 Hz下的U1器件温度

13 传导EMI测量

13.1 传导EMI测试设置

本测试以34个LED组成的灯串作为负载 (~100 V V_{OUT})，并以230 VAC输入电压、60 Hz工频在室温下进行。

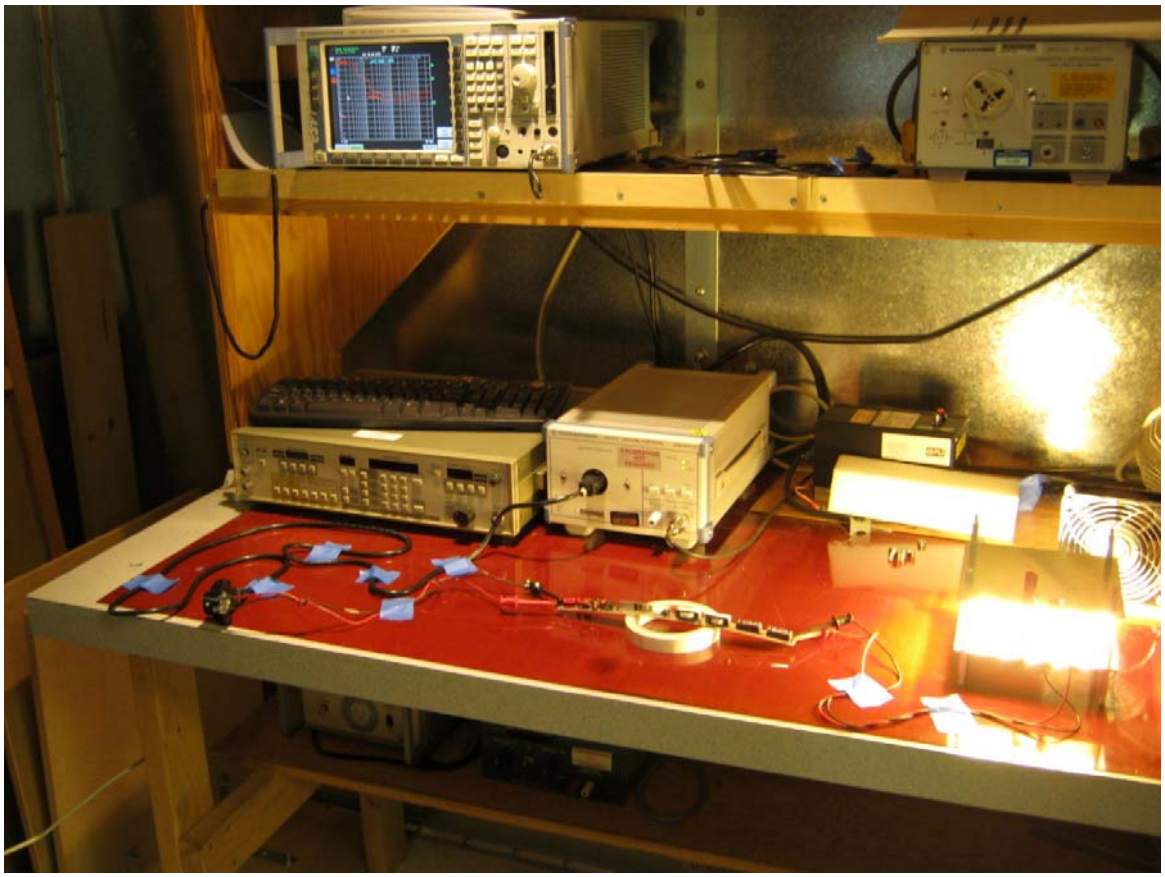
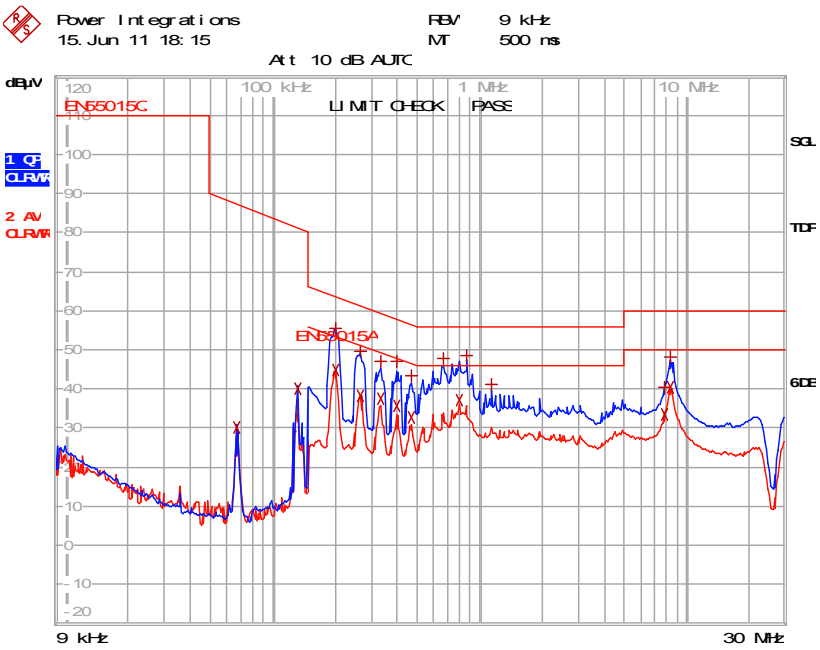


图53 – EMI测量设置

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

13.2 传导EMI测试结果



EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)

Trace1: EN55015Q
Trace2: EN55015A
Trace3: ---

TRACE		FREQUENCY	LEVEL dBµV		DELTA LIMIT dB
2	Average	66.5026022731 kHz	30.28	L1 gnd	
2	Average	132.133649648 kHz	39.99	L1 gnd	
1	Quasi Peak	200.175581485 kHz	55.47	N gnd	-8.12
2	Average	200.175581485 kHz	45.01	N gnd	-8.58
1	Quasi Peak	264.49018761 kHz	49.50	N gnd	-11.78
2	Average	264.49018761 kHz	38.35	N gnd	-12.93
1	Quasi Peak	332.507282579 kHz	46.96	N gnd	-12.42
2	Average	332.507282579 kHz	37.51	N gnd	-11.87
1	Quasi Peak	397.727746704 kHz	47.13	N gnd	-10.76
2	Average	397.727746704 kHz	35.75	N gnd	-12.14
1	Quasi Peak	466.367062279 kHz	43.56	N gnd	-13.01
2	Average	466.367062279 kHz	32.57	N gnd	-14.00
1	Quasi Peak	667.263434405 kHz	47.65	N gnd	-8.34
2	Average	798.145472681 kHz	36.98	N gnd	-9.01
1	Quasi Peak	864.277177159 kHz	48.63	N gnd	-7.36
1	Quasi Peak	1.13065507631 MHz	41.05	N gnd	-14.94
1	Quasi Peak	7.94912631806 MHz	40.32	N gnd	-19.67
2	Average	7.94912631806 MHz	33.45	N gnd	-16.55
1	Quasi Peak	8.4381577663 MHz	48.17	N gnd	-11.82
2	Average	8.4381577663 MHz	40.51	N gnd	-9.48

图54 – 传导EMI，34 LED负载，230 VAC，60 Hz，EN55015B限值

14 电源瞬态测试

被测电源应能在230 VAC输入下承受±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。

电平 (V)	输入电压 (VAC)	注入位置	注入相位 (°)	类型	测试结果（通过/失败）
+2500	230	L1, L2	0	100 kHz振铃波 (500 A)	通过
-2500	230	L1, L2	90	100 kHz振铃波 (500 A)	通过
+2500	230	L1, L2	0	100 kHz振铃波 (500 A)	通过
-2500	230	L1, L2	90	100 kHz振铃波 (500 A)	通过

电平 (V)	输入电压 (VAC)	注入位置	注入相位 (°)	类型	测试结果（通过/失败）
+500	230	L1, L2	0	浪涌(2Ω)	通过
-500	230	L1, L2	90	浪涌(2Ω)	通过
+500	230	L1, L2	0	浪涌(2Ω)	通过
-500	230	L1, L2	90	浪涌(2Ω)	通过

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

15 版本历史

日期	作者	修订版本	说明与变更	审核人
2011年7月15	CA	1.0	初始版本	Apps and Mktg

有关最新产品信息，请访问：www.powerint.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.powerint.com. Power Integrations grants its customers a license under certain patent rights as set forth at http://www.powerint.com/ip.htm.

The PI logo, TOPSwitch, TinySwitch, LinkSwitch, DPA-Switch, PeakSwitch, CAPZero, SENZero, LinkZero, HiperPFS, HiperTFS, HiperLCS, Qspeed, EcoSmart, Clampless, E-Shield, Filterfuse, StakFET, PI Expert and PI FACTS are trademarks of Power Integrations, Inc. Other trademarks are property of their respective companies. ©Copyright 2011 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@powerint.com

中国（上海）
Rm 1601 /1610, Tower 1
Kerry Everbright City
No. 218 Tianmu Road West
Shanghai, P.R.C. 200070
Phone: +86-21-6354-6323
Fax: +86-21-6354-6325
e-mail:
chinasales@powerint.com

中国（深圳）
Rm A, B & C 4th Floor, Block C,
Electronics Science and
Technology Building
2070 Shennan Zhong Road
Shenzhen, Guangdong,
P.R.C, 518031
Phone: +86-755-8379-3243
Fax: +86-755-8379-5828
e-mail:
chinasales@powerint.com

德国
Rüeckertstrasse 3
D-80336, Munich
Germany
Phone: +49-89-5527-3910
Fax: +49-89-5527-3920
e-mail:
eurosales@powerint.com

印度
#1, 14th Main Road
Vasanthanagar
Bangalore-560052
India
Phone: +91-80-4113-8020
Fax: +91-80-4113-8023
e-mail:
indiasales@powerint.com

意大利
Via De Amicis 2
20091 Bresso MI
Italy
Phone: +39-028-928-6000
Fax: +39-028-928-6009
e-mail:
eurosales@powerint.com

日本
Kosei Dai-3 Building
2-12-11, Shin-Yokohama,
Kohoku-ku, Yokohama-shi
Kanagwan 222-0033
Japan
Phone: +81-45-471-1021
Fax: +81-45-471-3717
e-mail:
japansales@powerint.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@powerint.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@powerint.com

台湾
5F, No. 318, Nei Hu Rd., Sec. 1
Nei Hu District.
Taipei 114, Taiwan, R.O.C.
Phone: +886-2-2659-4570
Fax: +886-2-2659-4550
e-mail:
taiwansales@powerint.com

欧洲总部
1 st Floor, St. James's House
East Street, Farnham
Surrey GU9 7TJ
United Kingdom
Phone: +44 (0) 1252-730-141
Fax: +44 (0) 1252-727-689
e-mail:
eurosales@powerint.com

技术支持热线
World Wide +1-408-414-9660

技术支持传真
World Wide +1-408-414-9760