

AP1661 用于 28V/2.15A LED 照明灯管解决方案

应用工程师

上海新进半导体

3/12/2009

报告摘要	
规格	85~265Vac, 28V/2.15A
应用	LED 办公照明及相关应用
主要特点	<ul style="list-style-type: none">◆ 单级 PFC 拓扑高性价比方案◆ 高转换效率 230V 输入 $\geq 90\%$◆ 高精度电压精度 $\leq 2\%$, 电流恒定精度 $\leq 3\%$◆ 高 PF 值 230V 输入 ≥ 0.95◆ 高可靠性, 内置开路、过流以及短路保护◆ 低电流谐波, 通过 IEC61000-3-2

目录

1. 简介.....	3
2. 电气规格要求.....	4
3. 电路原理图及应用说明.....	5
3.1 输入滤波电路.....	6
3.2 主功率 MOSFET 选择.....	6
3.3 输出电容选择.....	6
4. 物料清单.....	7
5. 变压器规格.....	8
6. PCB Layout 及注意事项.....	9
7. 测试报告.....	9
7.1. 测试项目.....	9
7.2. 基本电气性能测试.....	10
7.2.1. 基本输出参数测试.....	10
7.2.2. 输出电压电流波形.....	10
7.2.3. 输出纹波.....	10
7.2.4. 开关机过冲.....	11
7.2.5. 开机延迟时间.....	12
7.2.6. 输出上升时间.....	12
7.2.7. 输出短路测试.....	12
7.2.8. 动态负载测试.....	13
7.2.9. 温升测试.....	13
7.3 EMC 测试.....	14
7.3.1 传导.....	14
7.4 THD 测试.....	15-18
7.5 测试结果.....	19

一、简介

近年来，基于LED的长寿命及环保特性，LED在许多国家照明及其它领域等到了广泛的使用。为了减少对交流电网的谐波污染，国际上推出了一些限制电流谐波的标准，如IEC1000-3-2标准，它要求开关电源必须采取措施降低电流谐波含量。为了使输入电流谐波满足要求，必须加入功率因数校正（PFC）。目前应用得最广泛的是PFC级+DC/DC级的两级方案，它们有各自的开关器件和控制电路。这种方案能够获得很好的性能，但其缺点是电路复杂，成本高。

以下这份文档是采用BCD半导体公司专业PFC控制芯片AP1661应用于LED照明灯管及相关应用的电源驱动解决方案。采用高性价比单级PFC反激拓扑结构，具有高PF值低谐波分量以及高转换效率等优点。此拓扑结构唯一不足之处就是输出电压存在较大的工频纹波（50Hz或60Hz），但是对于LED来说无关紧要。以下是整机实物图预览：

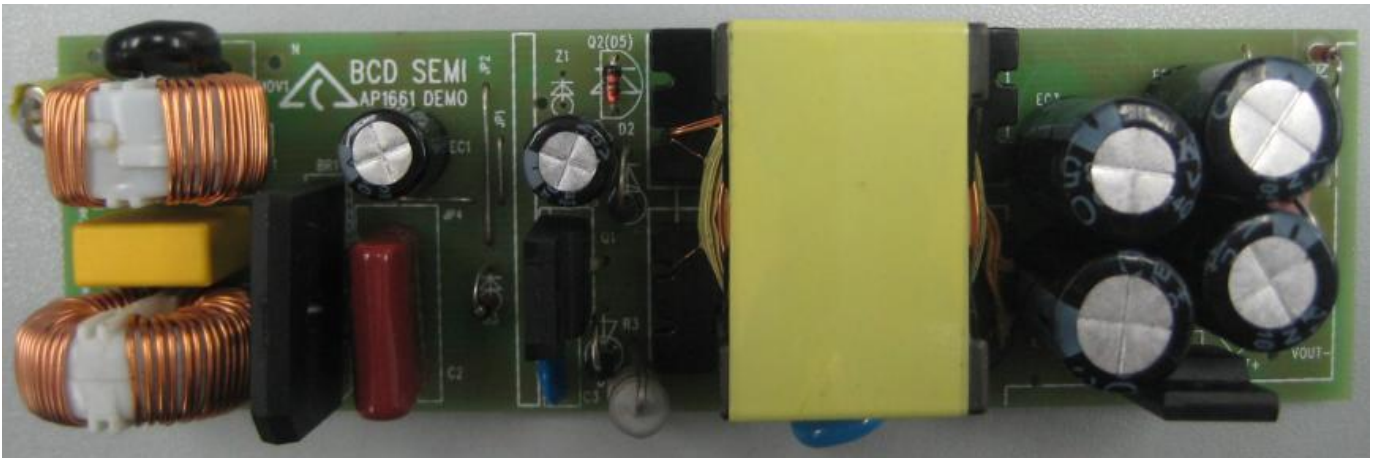


图 1、顶视图

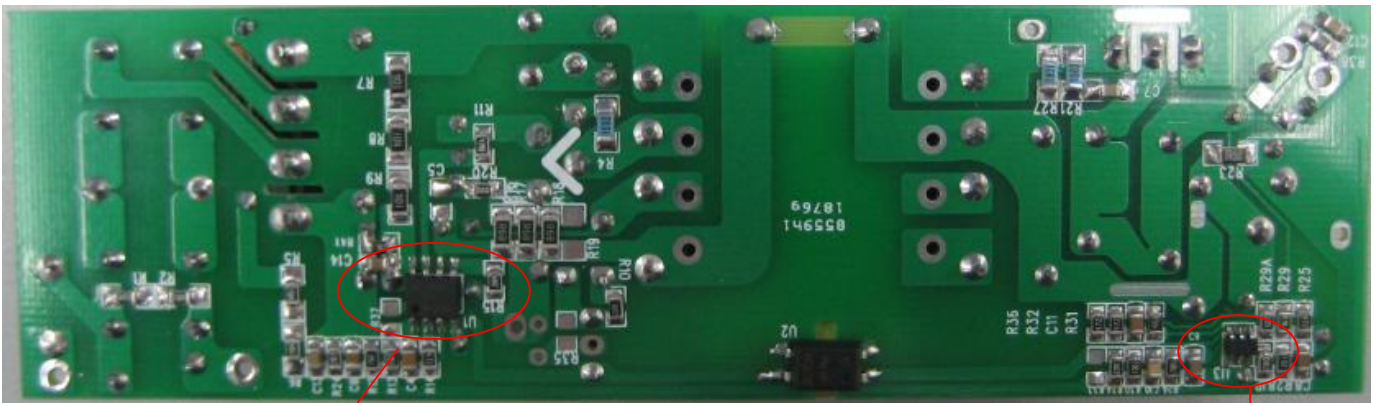


图 2、底视图

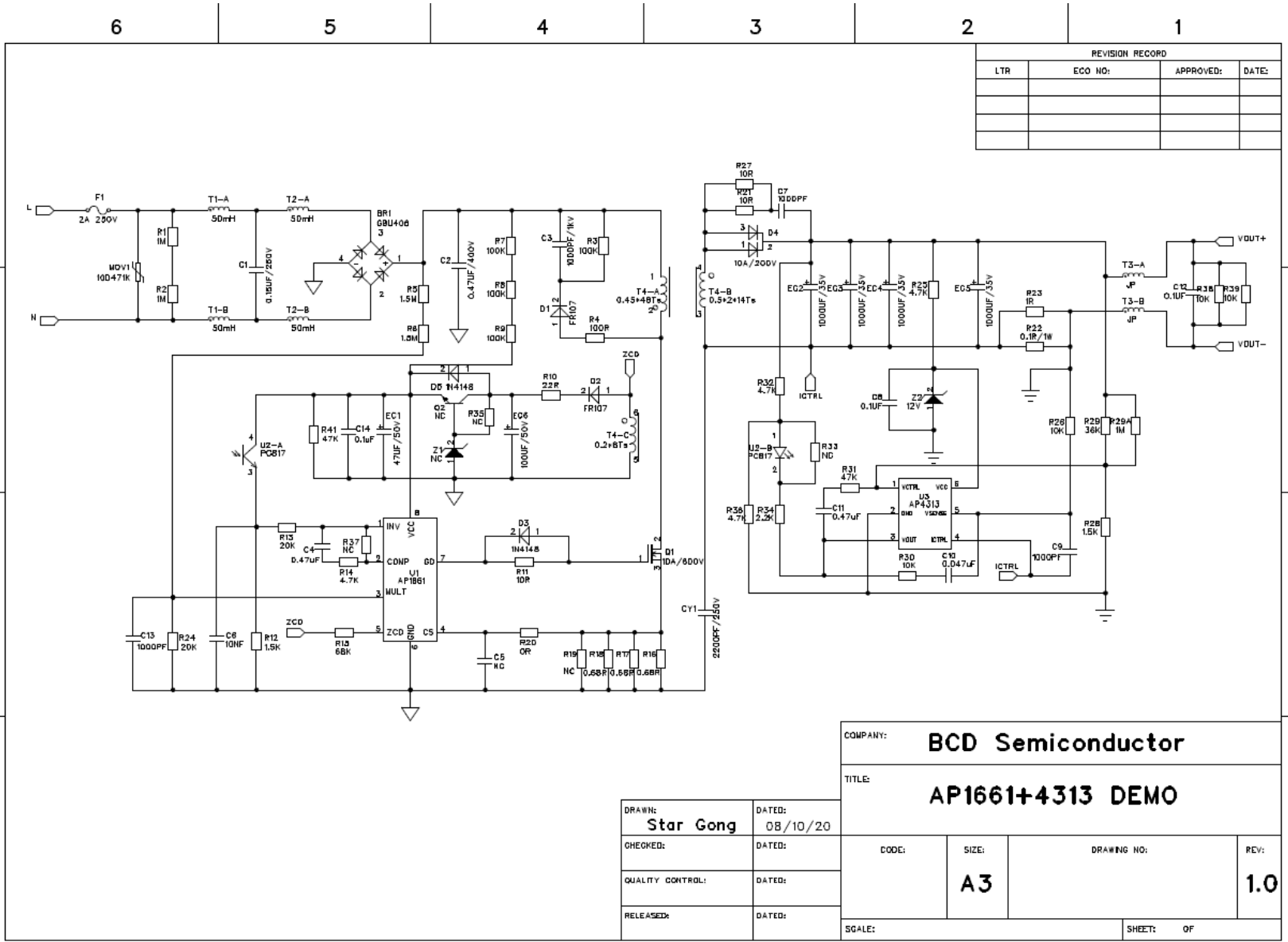
AP1661

AP4313

二、 电气规格要求

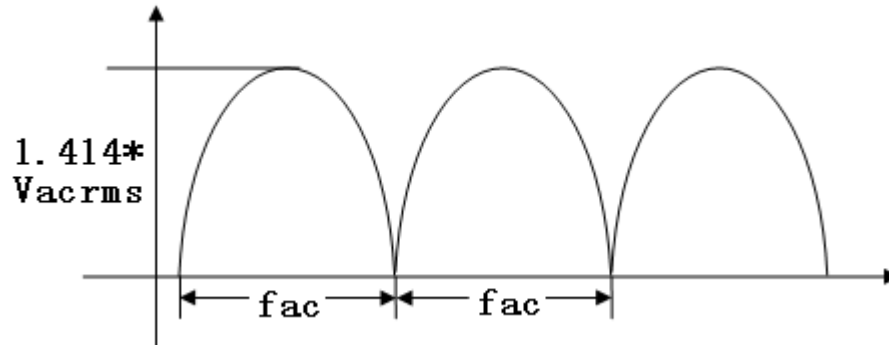
描述	最小	典型	最大	单位	条件
输入					
电压	85		264	V	
频率	43		63	Hz	
PF	0.9				
空载最大输入功率			2	W	
输出					
输出电压		28	30.24	V	
输出纹波电压			±10	%	20M 带宽
输出电流	2.05	2.15	2.25	A	
输出功率 (Pno)		60		W	
效率					
全电压范围, 满载	85			%	
保护功能					
输出短路保护	有, 自恢复				
输出过流保护	有, 自恢复				
输出开路保护	有, 自恢复				
其它					
THD	过 IEC61000-3-2				
EMI	过 EN55015 标准并留有 6dB 裕量				

三、电路原理图及应用说明



3.1 输入滤波电路。

与常规电源中整流滤波电路不同的是，单级 PFC 拓扑取消了整流桥之后的大电解电容，使用一个高频特性较好的聚脂薄膜（CBB）电容，建议取值随输出功率成正比，本应用取 0.47UF/450V 一颗。因为取消大电解电容滤波使得整个变换器的母线电压不再是常规的直流高压电，而是两倍于输入交流频率 f_{ac} 的全波整流电压，如下图所示：



3.2 功率 MOSFET(Q1)的选择

MOSFET 的选择，首先应确定其额定值电压(V_{ds})。在 MOSFET 关断期间，漏极与源极之间的峰值电压为：

$$V_{ds(pk)} = V_{in(max)} \cdot \sqrt{2} + (V_o + V_f) \cdot n + V_{spike} \quad (1)$$

式中： $V_{in(max)}=265V$ ；

V_f 为次级整流二极管(D4)的导通压降， $V_f=0.7V$ ；

V_{spike} 为漏感产生的尖峰脉冲电压，选择 $V_{spike}=100V$ ，留安全余量。

将已知数据代入式（1）得：

$$V_{ds(pk)} = 265 \cdot 1.414 + (28 + 0.7) \cdot 3.4 + 100 = 572.29V$$

S1 可选择 FCPF11N60F 型 N 沟道 MOSFET，其额定电压 $U_{DS}=650V$ ，额定电流 $I_D=11A$ ，导通态电阻 $R_{DS(on)}=0.32\Omega$ 。

3.3 输出电容器的选择

输出电容 C_o 值由下式确定：

$$C_o = \frac{2 \cdot P_o \cdot T_h}{V_o^2 - V_o(min)^2} \quad (2)$$

式中： T_h 为所需保持时间，即 AC 线路的周期时间， $T_h=1/50Hz=0.02S$ ；

$V_o(min)$ 为最低输出电压，选择 $V_o(min)=26V$ 。

将相关数据代入式（2）得：

$$C_o = \frac{2 \cdot 60 \cdot 0.02}{28^2 - 26^2} = 22000\mu F$$

因尺寸空间实际选择四个 1000UF/35V 高频低阻电容并联，实测输出纹波峰峰值约 1.7Vp-p。

四、 物料清单


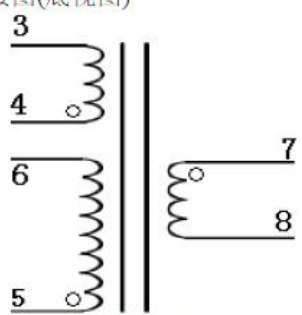
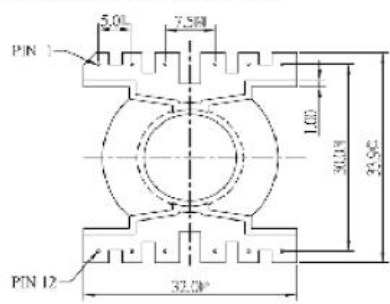
No.	Component name	Circuit diagram code	BOM Qty	Supplier Name	Estimated Price/pcs U/P RMB	Price total RMB
Electrical part						
1	IC PWM,AP1661 SOP-8	U1	1	BCD SEMI		
2	IC AP4313 SOT23-6	U3	1	BCD SEMI		
3	Bridge Rectifier GBU406 4A 600V	F2	1			
4	Diode Rectifier .1000V,1A FR107,DO-41	D1 D2	2			
5	Diode Rectifier 75V 200mA 1N4148 DO-35	D3 D5	2			
6	FUSE 2A 250V	F1	1			
7	N-Channel Mosfet FCPF11N60F TO-220	Q1	1			
8	Common Choke 50mH 高导磁环	T1 T2	2			
9	MOV 471K	MOV1	1			
10	PC817 SOP-4	U2	1			
11	Fast Recover Rectifier MBR10200CT TO-220	D4	1			
12	Transformer PQ3220	T4	1			
13	Zener 12V	Z2	1			
14	NC	Q2 Z1 T3	3			
15	X-Capacitor 0.15UF/250V	C1	1			
16	Capacitor CBB 0.47UF/400V	C2	1			
17	Capacitor Ceramic 1000PF/1KV	C3	1			
18	Y-Capacitor 2200PF/250V	CY1	1			
19	Capacitor Ceramic 0.1UF/50V 0805	C8 C12 C14	3			
20	Capacitor Ceramic 1000PF/100V 0805	C7 C9 C13	3			
21	Capacitor Ceramic 0.47UF/50V 0805	C4 C11	2			
22	Capacitor Ceramic 0.047UF/50V 0805	C10	1			
23	Capacitor Ceramic 0.01UF/50V 0805	C6	1			
24	NC	C5	1			
25	Capacitor Electrolytic 1000UF/35V	EC2 EC3 EC4 EC5	4			
26	Capacitor Electrolytic 47UF/50V	EC1	1			
27	Capacitor Electrolytic 100UF/50V	EC6	1			
28	Resistor 0.1ohm 1W	R22	1			
29	Resistor 0ohm 5% 0805	R20	1			
30	Resistor 0.68ohm 5% 1206	R16 R17 R18	3			
31	Resistor 1ohm 5% 1206	R23	1			
32	Resistor 100ohm 5% 1206	R4	1			
33	Resistor 10ohm 5% 0805	R11	1			
34	Resistor 10ohm 5% 1206	R21 R27	2			
35	Resistor 22ohm 5% 0805	R10	1			
36	Resistor 1.5Kohm 1% 0805	R12 R28	2			
37	Resistor 2.2Kohm 5% 0805	R34	1			
38	Resistor 4.7Kohm 1% 0805	R14 R25 R32 R36	4			
39	Resistor 10Kohm 1% 1206	R38 R39	2			
40	Resistor 10Kohm 5% 0805	R26 R30	2			
41	Resistor 20Kohm 5% 0805	R13 R24	2			
42	Resistor 36Kohm 5% 0805	R29	1			
43	Resistor 47Kohm 5% 0805	R31 R41	2			
44	Resistor 68Kohm 5% 0805	R15	1			
45	Resistor 100Kohm 5% 1W	R3	1			
46	Resistor 100Kohm 5% 1206	R7 R8 R9	3			
47	Resistor 1.5Mohm 5% 1206	R1 R2 R5 R6	4			
48	Resistor 1Mohm 5% 0805	R29A	1			
49	NC	R19 R33 R35 R37	4			
Total			72			0.000000

五、 变压器规格

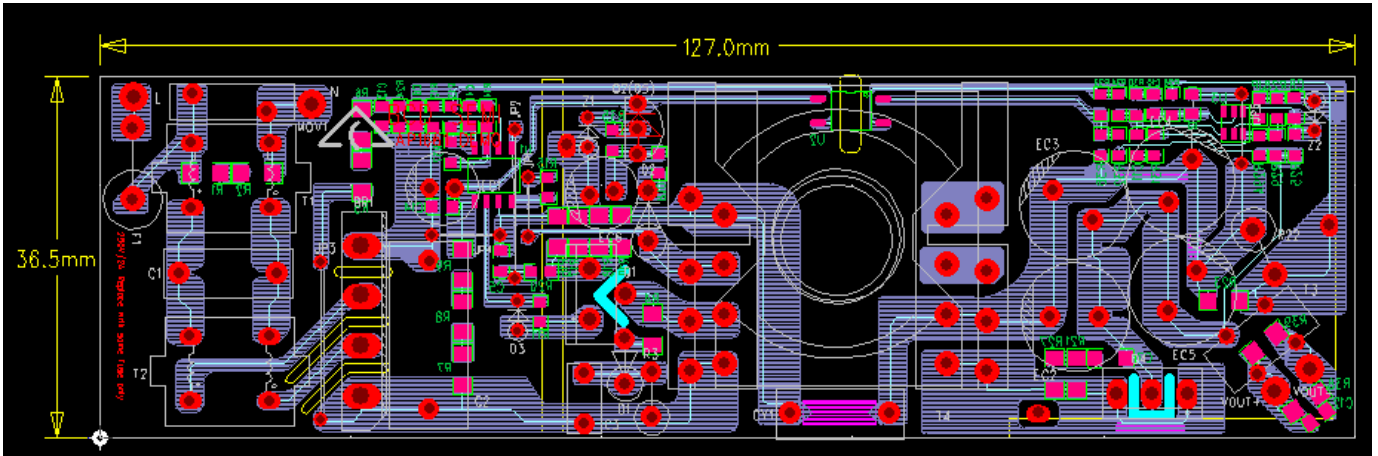
变压器 T4 是反激变换器中的关键元件，其设计关系到整机的工作性能优劣。变压器初级与次级绕组之间的匝数比 $n=N_p/N_s$ ，直接影响初级侧主开关管的最大电压值。为了减小输出反射到初级的电压，选择匝数比 $n \approx 3.4$ ，初级 $N_p=48$ 匝，次级 $N_s=14$ 匝。

为了减小高度尺寸，选择 TDK PQ3220 PC40 磁芯。同时为了减小漏感产生的尖峰脉冲电压，应尽可能降低变压器的漏感从而增强耦合，初级与次级绕组采用交错绕法即三明治绕法。具体方法是：先绕初级的 24 匝（一层），接着绕次级 14 匝，然后再绕初级剩下的 24 匝，按该法绕制，漏感可明显减小。另外初级绕组的电感值 $L_p=470\mu\text{H}$ 。详细规格如下：

Transformer SPEC

Project(项目) : 28V2.15A (AP1661)							
Designer (设计者) : Star Gong							
DATE (日期) : 2009 / 1 / 16							
1.Core and Ferrite type: PQ3220 PC40							
2.SCHEMATIC DIAGRAM (BOTTOM VIEW) 绕线连接图(底视图)		3.Bobbin Mounting Direction as per the following sketch BOBBIN 插入方向(如下图)					
 <p>“.”表示同名端.</p>		 <p>骨架底视图</p>					
4.Primary Inductance 原边电感 原边电感量 (Pin 6 - Pin 5): $L_p=470\mu\text{H}$, $\pm 7\%$ (@ 1kHz), 漏感 $< 20\mu\text{H}$. High voltage 3000VAC 1sec $< 1\text{mA}$							
5.WINDING DETAILS 详细绕线							
Wdg.No.	Start 起线	Finish 收线	Turns 圈数	Wire Dia. 线径	Wdg Type Spread / Even 绕线方法 疏绕/密绕	Wdg Direction 绕线方向	Turns/Layer No. Of Layers
W1	6	2	24T	$\phi 0.4\text{mm}$ 1UEW-F		RIGHT	24T, 1 layer
1 layers of Polyester Yellow tape, T=0.05 mm							
W2	8	7	14T	$\phi 0.5\text{mm} * 2$ Tex-E	分两层一次绕完	RIGHT	7T+7T, 2layers
1 layers of Polyester Yellow tape, T=0.05 mm							
W3	2	5	24T	$\phi 0.4\text{mm}$ 1UEW-F		RIGHT	24T, 1 layer
1 layers of Polyester Yellow tape, T=0.05 mm							
9mm 宽铜皮 1.2 圈, 首尾不相接, 中部接 Pin3 地。							
1 layers of Polyester Yellow tape, T=0.05 mm							
W4	3	4	8T	$\phi 0.2\text{mm}$ 1UEW-F		RIHGT	8T, 1layer
3 layer of Polyester Yellow tape, T=0.05mm							
Tinned first times							
Assembling the core and curing							

六、PCB 布线



PCB Layout 视图

布线原则：1、功率地与控制信号地分开并单点接地。

2、大电压及大电流变化率的走线尽量短而宽，以减小电磁干扰。

3、旁路电容尽量靠近芯片供电脚。

整体机械尺寸 $L \times W \times H = 127 \times 36.5 \times 20\text{mm}$ ，适用于外置驱动 LED 照明灯管以及相关应用场合。

七、测试报告

7.1 测试项目

NO.	测试项目	条件， 规格	判定	备注
7.2. 基本电性能测试				
7.2.1	基本输出参数测试	满足规格书的要求	满足	
7.2.2	输入电压电流波形		满足	
7.2.3	输出纹波	输入电压 90V 和 264V，满载 要求 $\leq \pm 10\%$	满足	
7.2.4	开关机过冲	输入电压 90V 和 264V，负载空载、满载，要求 $\leq \pm 10\%$	满足	
7.2.5	开机延时	输入电压 90V 和 264V，满载 要求 $\leq 2\text{S}$	满足	
7.2.6	输出上升时间	输入电压 90V 和 264V，满载	满足	
7.2.7	输出短路保护	满足规格书的要求	满足	
7.2.8	输出动态负载测试	满足规格书的要求	满足	
7.2.9	温度测试		满足	
7.3. EMC 测试				
7.3.1	传导测试	EN55015	满足	
7.4. THD 测试				
7.4.1	THD 测试	IEC61000-3-2	满足	
7.5	测试结果	规格要求	满足	

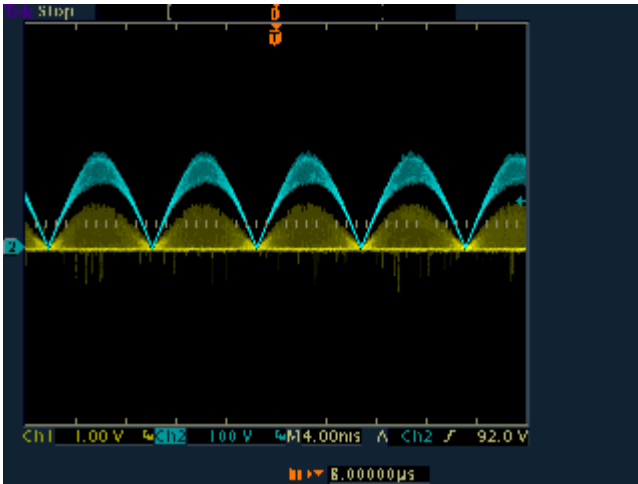
7.2 基本电气性能指标的测试

7.2.1 基本参数测试

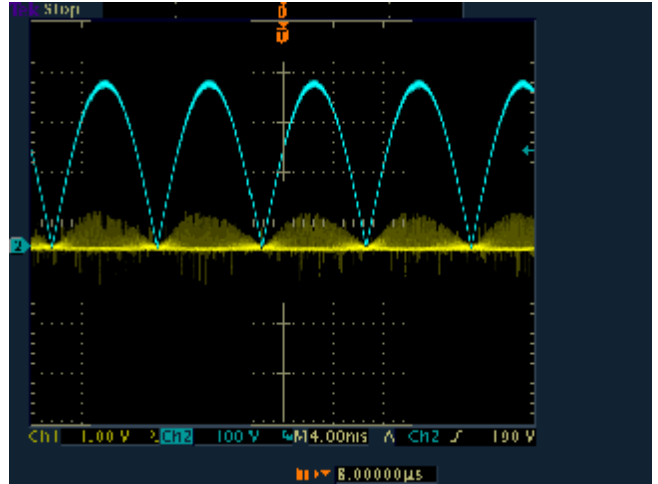
输入电压(Vac)	满载输入电流(<1A)	满载输入功率(W)	满载 PF 值(>0.9)	恒压 28V 输出电流(2.05~2.25A)	满载效率(>85%)	空载输出电压(28.80~30.24V)	满载输出纹波(2.8Vp-p)
90	0.78	69.4	0.989	2.16	87.15%	29.3	1.78
115	0.60	68.1	0.989	2.16	88.81%	29.3	1.72
230	0.30	66.3	0.955	2.16	91.22%	29.3	1.6
264	0.27	66.2	0.937	2.16	91.36%	29.3	1.58

标准：是否满足规格书的要求 判定：满足

7.2.2 输入电压与电流波形

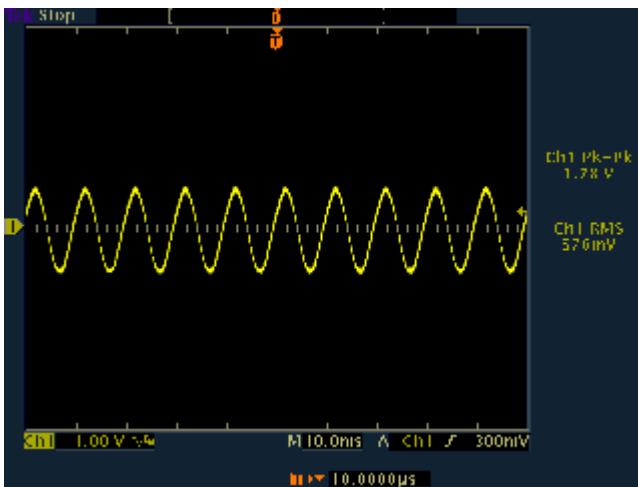


90V输入，满载输出

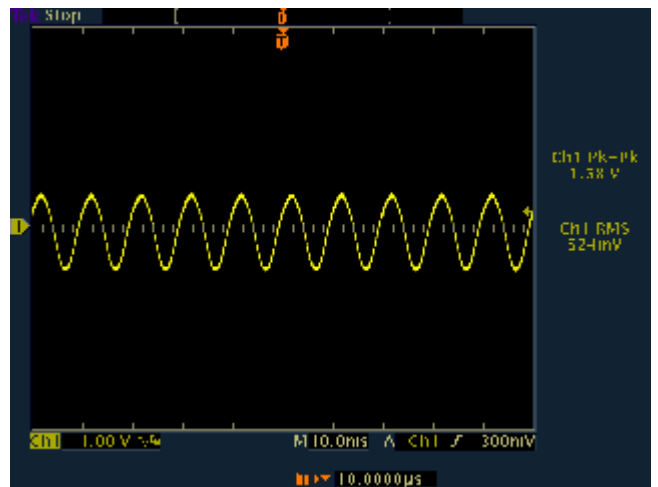


264V输入，满载输出

7.2.3 输出纹波



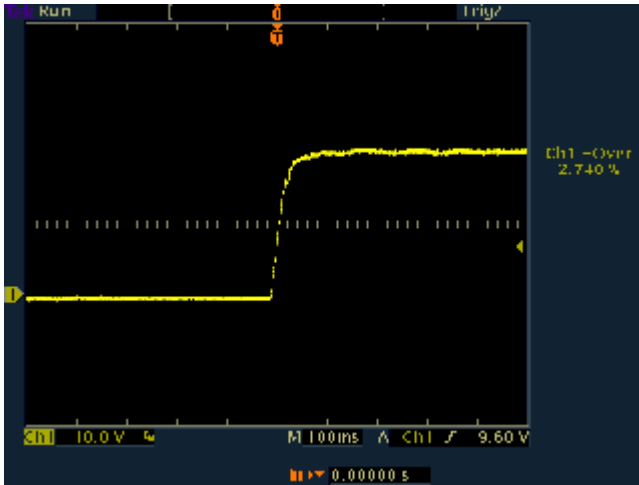
90V输入，满载输出



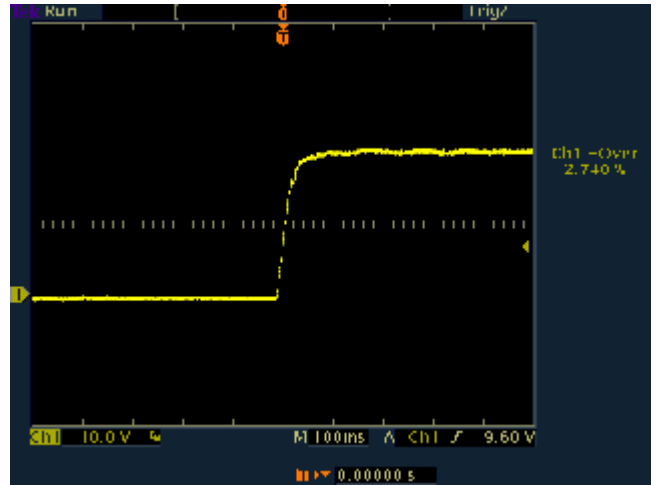
264V输入，满载输出

标准：<2.8VDC 判定：满足

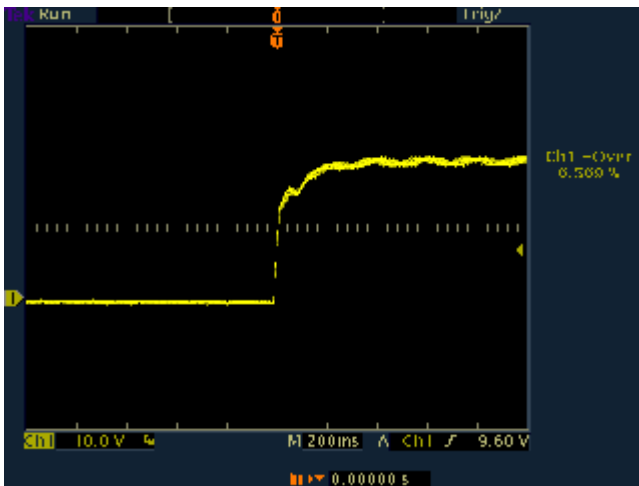
7.2.4 开关机过冲



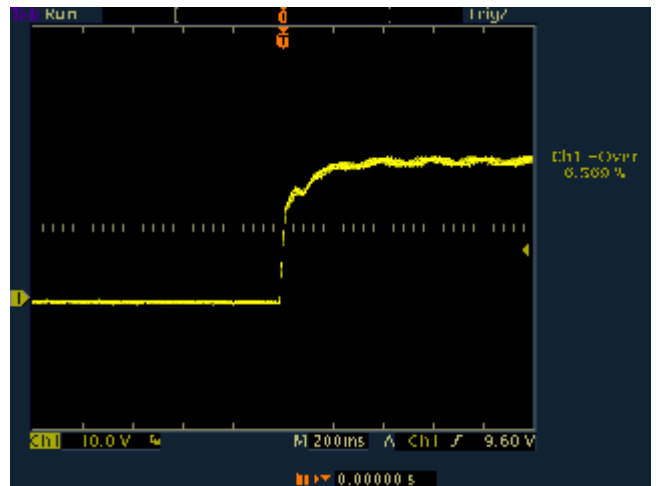
90V输入，空载输出



264V输入，空载输出



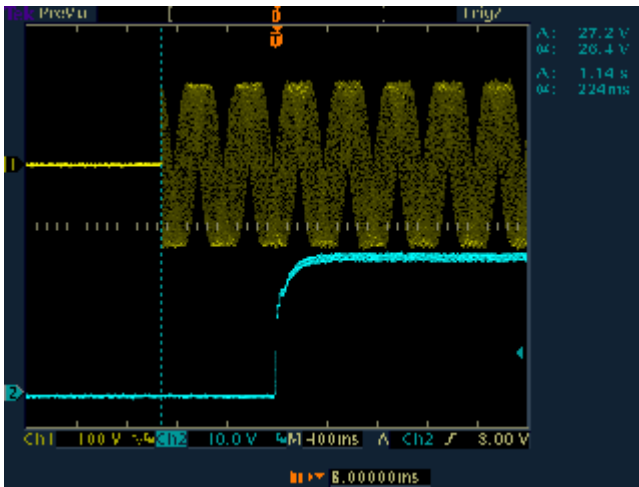
90V输入，满载输出



264V输入，满载输出

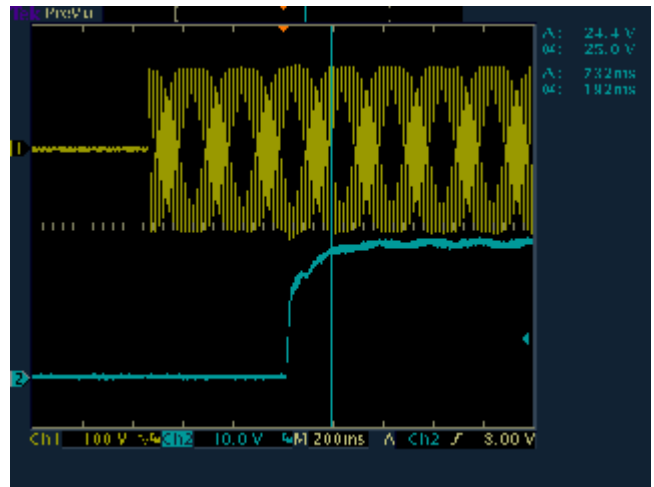
标准: <30.24VDC 判定: 满足

7.2.5 开机延时



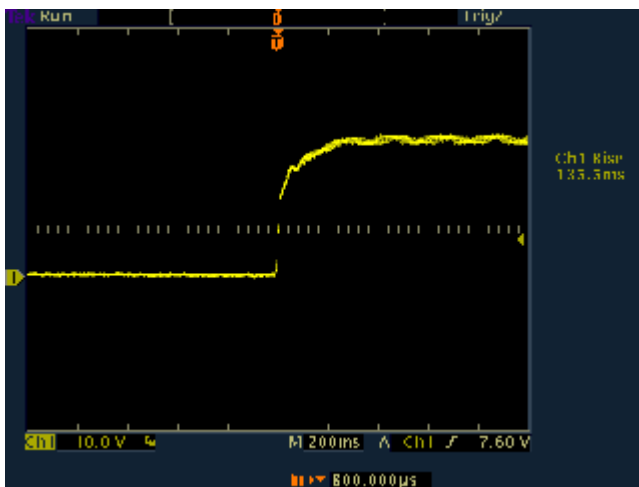
90V输入，满载输出

标准: <2.0S 判定: 满足



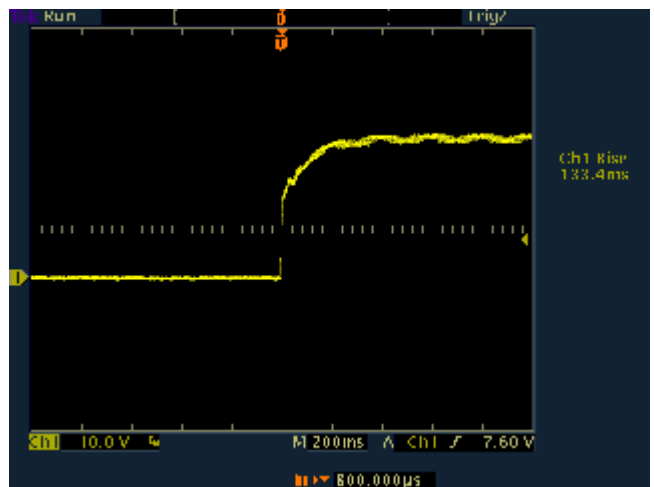
264V输入，满载输出

7.2.6 输出上升时间



90V输入，满载输出

标准: 是否满足规格书的要求 判定: 满足



264V输入，满载输出

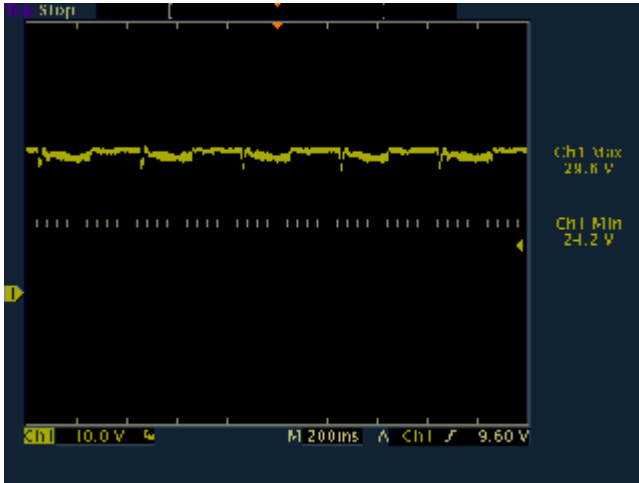
7.2.7 输出短路保护

测试要求: 长期短路后，移除短路保护条件，应能正常工作。

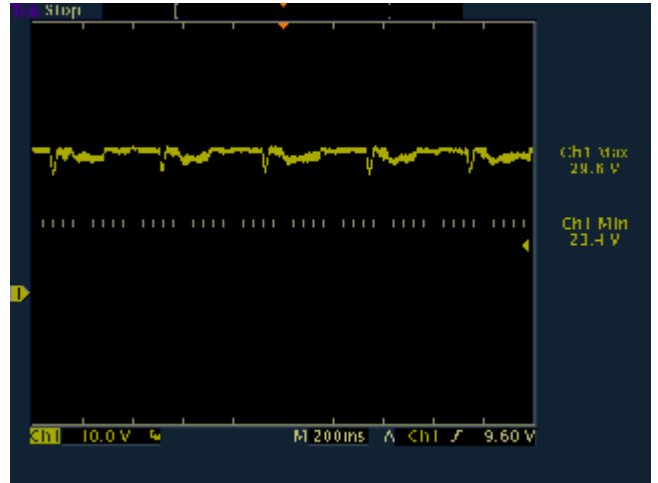
标准: 是否满足规格书的要求 判定: 满足

7.2.8 输出负载跃变测试

在0%~100%-0%负载时进行负载跃变测试，观察输出电压的变化。电流变化的速率为0.1A/us。电压过冲最大值小于30.24V。



115V输入，输出满空载跃变



264V输入，输出满空载跃变

标准：是否满足规格书的要求

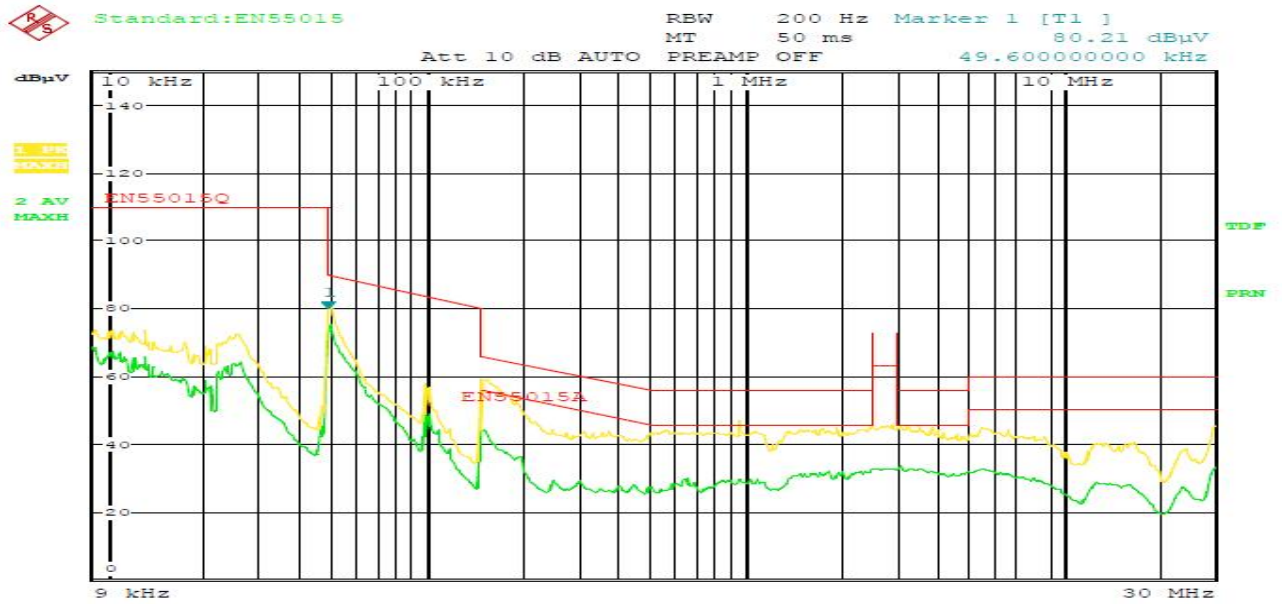
判定：满足

7.2.9 温度测试

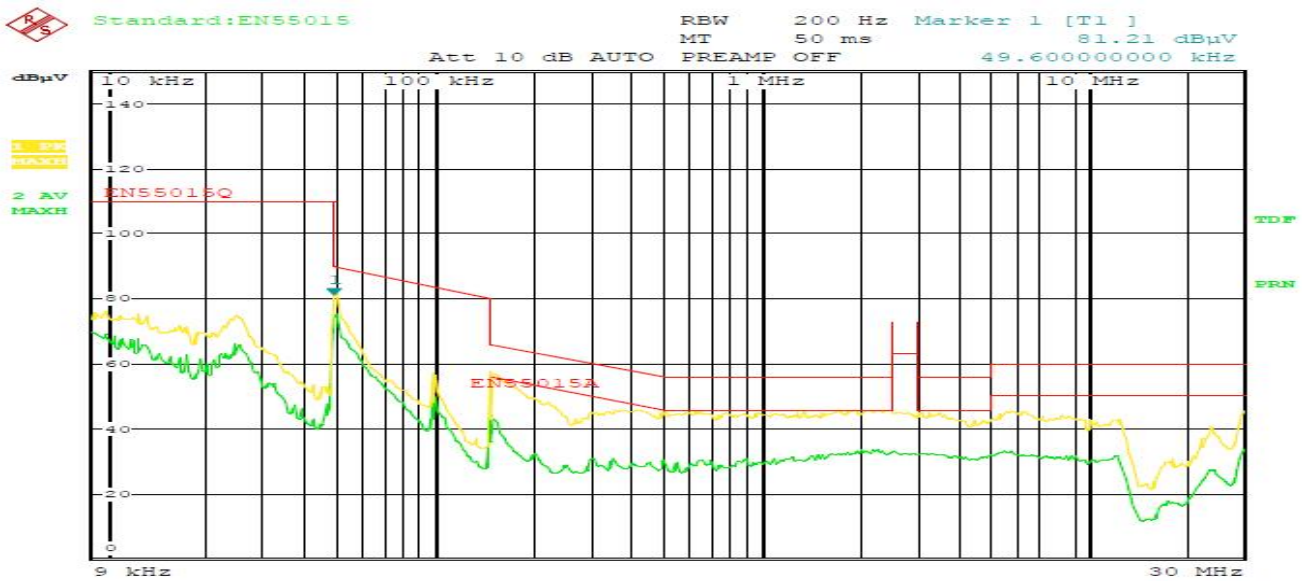
测试条件：恒温 60℃ 恒湿 90% 整机工作2H稳定后，记录数据如下表

Item	90Vac	115Vac	230Vac	264Vac
U1 (AP1661)	82.1℃	81.4℃	85.8℃	86.7℃
BR1 (GBU4K)	93.4℃	88.6℃	84.7℃	83.4℃
T4 (PQ3220)	113.0℃	111.2℃	107.3℃	104.7℃
Q1 (F10NK60ZFP)	106.2℃	102.5℃	95.1℃	94.7℃
D4 (UF1604FCT)	108.4℃	104.8℃	100.4℃	100.8℃

7.3 .EMC 传导测试



Comment B: Manuf:BCD EUT:SPS M/N:AP1661/60W Memo:FULL LOAD Power:L
 230V/50Hz
 Date: 11.DEC.2008 14:39:32

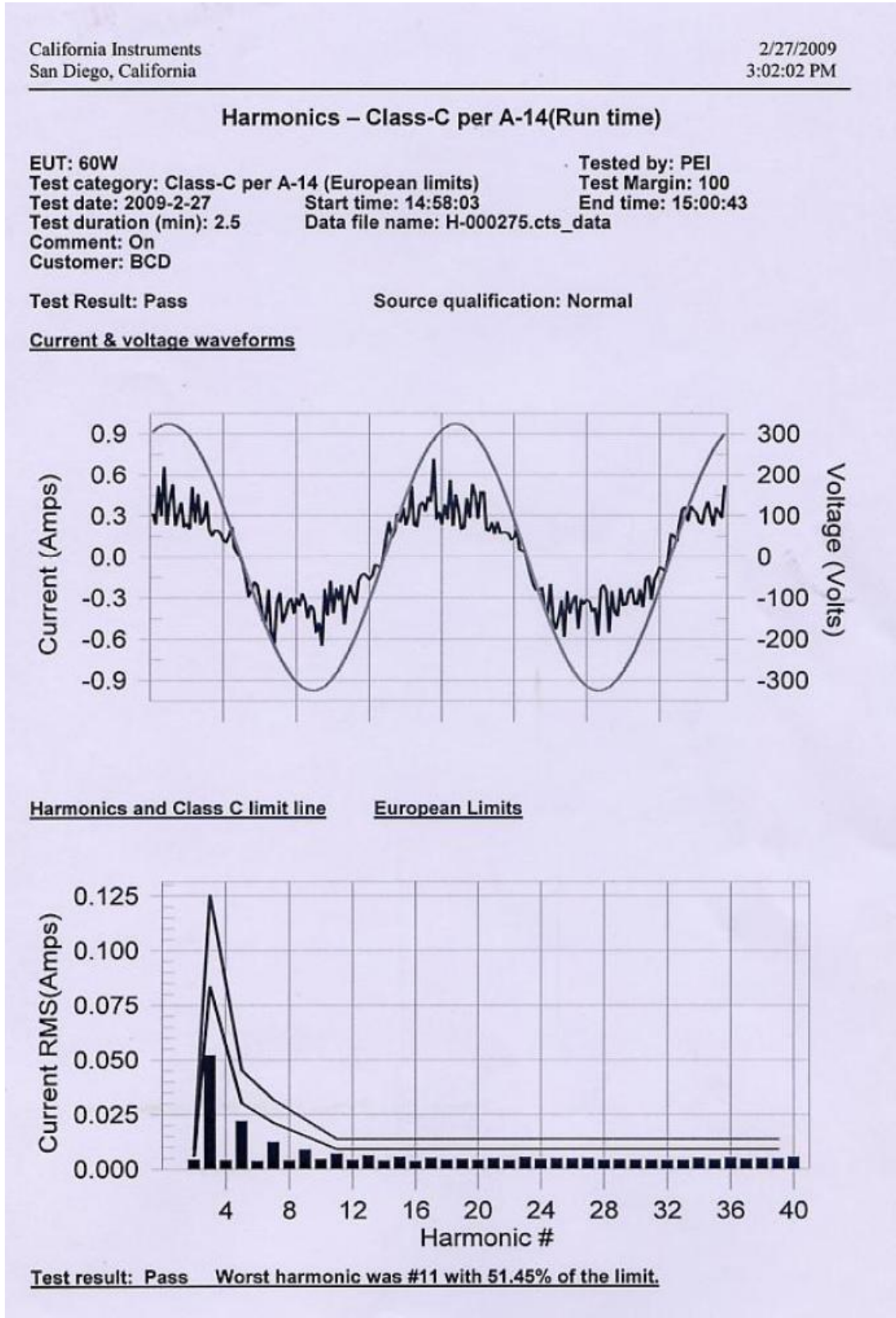


Comment B: Manuf:BCD EUT:SPS M/N:AP1661/60W Memo:FULL LOAD Power:N
 230V/50Hz
 Date: 11.DEC.2008 14:42:33

标准: 是否满足EN55015要求, 并留有6dB裕量

判定: OK

7.4 THD测试





California Instruments
San Diego, California

2/27/2009
3:02:02 PM

Current Test Result Summary (Run time)

EUT: 60W

Test category: Class-C per A-14 (European limits)

Test date: 2009-2-27

Start time: 14:58:03

Test duration (min): 2.5

Data file name: H-000275.cts_data

Comment: On

Customer: BCD

Tested by: PEI

Test Margin: 100

End time: 15:00:43

Test Result: Pass

Source qualification: Normal

THC(A): 0.06 I-THD(pk%): 20.89

POHC(A): 0.010

POHC Limit(A): 0.029

Highest parameter values during test:

V_RMS (Volts): 229.81

Frequency(Hz): 50.00

I_Peak (Amps): 0.778

I_RMS (Amps): 0.327

I_Fund (Amps): 0.303

Crest Factor: 2.454

Power (Watts): 69

Power Factor: 0.921

Harm#	Harms(avg)	100%Limit	%of Limit	Harms(max)	150%Limit	%of Limit	Status
2	0.003	0.006	46.9	0.004	0.009	47.08	Pass
3	0.049	0.084	58.6	0.052	0.125	41.55	Pass
4	0.004						
5	0.020	0.030	67.6	0.022	0.045	48.57	Pass
6	0.004						
7	0.011	0.021	53.6	0.012	0.032	39.12	Pass
8	0.004						
9	0.008	0.015	50.1	0.009	0.023	38.68	Pass
10	0.005						
11	0.006	0.009	60.8	0.007	0.014	51.45	Pass
12	0.004						
13	0.005	0.009	51.0	0.006	0.014	44.39	Pass
14	0.004						
15	0.004	0.009	43.3	0.005	0.014	40.18	Pass
16	0.004						
17	0.004	0.009	39.8	0.005	0.014	37.48	Pass
18	0.004						
19	0.003	0.009	37.8	0.005	0.014	33.54	Pass
20	0.004						
21	0.003	0.009	37.1	0.005	0.014	35.24	Pass
22	0.004						
23	0.003	0.009	34.8	0.005	0.014	39.37	Pass
24	0.005						
25	0.003	0.009	34.6	0.005	0.014	35.34	Pass
26	0.005						
27	0.003	0.009	34.1	0.005	0.014	35.97	Pass
28	0.004						
29	0.003	0.009	29.3	0.004	0.014	32.07	Pass
30	0.004						
31	0.003	0.009	30.0	0.004	0.014	30.61	Pass
32	0.004						
33	0.003	0.009	30.6	0.004	0.014	30.01	Pass
34	0.005						
35	0.003	0.009	33.2	0.004	0.014	32.51	Pass
36	0.005						
37	0.003	0.009	34.6	0.005	0.014	33.96	Pass
38	0.005						
39	0.003	0.009	34.4	0.005	0.014	35.88	Pass
40	0.005						

Note: Dynamic limits were applied for this test. The highest harmonics values in the above table may not occur at the same window as the maximum harmonics/limit ratio.



California Instruments
San Diego, California

2/27/2009
3:02:02 PM

Voltage Source Verification Data (Run time)

EUT: 60W	Tested by: PEI
Test category: Class-C per A-14 (European limits)	Test Margin: 100
Test date: 2009-2-27	Start time: 14:58:03
Test duration (min): 2.5	End time: 15:00:43
Comment: On	Data file name: H-000275.cts_data
Customer: BCD	

Test Result: Pass

Source qualification: Normal

Highest parameter values during test:

Voltage (Vrms): 229.81	Frequency(Hz): 50.00
I_Peak (Amps): 0.778	I_RMS (Amps): 0.327
I_Fund (Amps): 0.303	Crest Factor: 2.454
Power (Watts): 69	Power Factor: 0.921

Harm#	Harmonics V-rms	Limit V-rms	% of Limit	Status
2	0.141	0.460	30.60	OK
3	0.573	2.068	27.72	OK
4	0.060	0.460	12.99	OK
5	0.077	0.919	8.41	OK
6	0.029	0.460	6.29	OK
7	0.041	0.689	5.92	OK
8	0.023	0.460	4.96	OK
9	0.027	0.460	5.84	OK
10	0.024	0.460	5.17	OK
11	0.025	0.230	10.81	OK
12	0.017	0.230	7.31	OK
13	0.019	0.230	8.28	OK
14	0.009	0.230	4.09	OK
15	0.017	0.230	7.32	OK
16	0.016	0.230	6.87	OK
17	0.021	0.230	9.26	OK
18	0.016	0.230	7.00	OK
19	0.013	0.230	5.55	OK
20	0.015	0.230	6.59	OK
21	0.010	0.230	4.35	OK
22	0.009	0.230	3.72	OK
23	0.010	0.230	4.29	OK
24	0.006	0.230	2.76	OK
25	0.011	0.230	4.91	OK
26	0.010	0.230	4.17	OK
27	0.009	0.230	3.91	OK
28	0.008	0.230	3.53	OK
29	0.008	0.230	3.27	OK
30	0.009	0.230	3.76	OK
31	0.008	0.230	3.30	OK
32	0.007	0.230	3.18	OK
33	0.008	0.230	3.35	OK
34	0.006	0.230	2.45	OK
35	0.004	0.230	1.93	OK
36	0.005	0.230	2.04	OK
37	0.007	0.230	2.84	OK
38	0.004	0.230	1.95	OK
39	0.006	0.230	2.59	OK
40	0.006	0.230	2.81	OK

7.5 测试结果

项目	最小		最大	单位	注解
输入					
电压	85		265	VAC	OK
频率	47	50/60	64	Hz	OK
空载功耗			2	W	Pass
输出					
输出电压	24	28	30.24	V	Pass
输出电压纹波			2	V	Pass
输出电流	2.05	2.15	2.25	mA	Pass
空载功耗			0.3	W	Pass
功率因数	0.9				Pass
效率					
全电压范围满载效率	85			%	Pass
其它					
EMC	EN5015				Pass
THD	IEC61000-3-2				Pass