

基于 ACT30A 的低成本 CV/CC (恒压/恒流) 5V1A 手机充电器

基本特性

- PWM 控制的超低成本手机充电器方案
- 85V 到 264V 宽电压交流输入
- 恒压 (5%) 和恒流 (10%) 精度控制
- 小于 0.25W 空载功率
- 无 Y 电容 EMI 解决方案
- 短路打嗝式保护且自动恢复
- 满载效率大于 65%

电气规格

说明	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入					
电压		85		264	VAC
开关频率		47		64	Hz
空载功率	85-264VAC, 空载			0.3	W
输出					
电压		4.75	5.00	5.25	V
电流		0.90	1.00	1.10	A
功率		4.27	5.00	5.80	W
纹波电压		10	50	75	mVpp
效率	220 VAC, 满载		67		%
环境					
电磁兼容	无 Y 电容	CISPR22B/EN55022B			
安规		IEC950/UL1950			
雷击	差模			1	kV
静电	接触放电			8	kV
	空气放电			15	kV
环境温度	自然冷却对流	0		40	°C

内容目录

1. 介绍.....	3
2. 样板图片.....	3
3. 电路图.....	4
4 电路说明.....	5
4.1. 输入和 EMI 滤波器.....	5
4.2. 初级电路	5
4.3. PWM 控制电路	5
4.4. 次级电路	5
4.5. 反馈控制回路.....	5
5. PCB 电路板设计.....	7
6. 材料清单.....	8
7. 变压器设计.....	9
7.1. 示意图	9
7.2. 装配表格	9
7.3. 装配图	9
7.4. 材料清单	10
7.5. 电气规格.....	10
8. 不同输出电压的设计.....	10
9. 波形	11
9.1. 集电极电压和电流.....	11
9.2. 发射极电压和电流.....	12
10. 功能测试	13
10.1. 空载功率	13
10.2. 效率	13
10.3. 输入电压和负载调整率	13
10.4. 纹波和噪声	13
10.5. 开机和关机	13
10.6. 恒流和限流	13
10.7. 短路保护和释放	14
10.8. 动态负载	14
10.9. 输入欠压测试	14
10.10. 反复通断电	14
10.11. 老化测试.....	14
11. 电磁兼容测试.....	15
11.1. 传导电磁干扰测试.....	15
11.2. 辐射电磁干扰测试.....	16
11.3. 雷击测试... ..	18
11.4. 静电测试	18
12. 热特性测试数据	18

1. 介绍

本文是一份用技领半导体公司 ACT30A 设计的低成本手机旅行充电器的应用报告。ACT30A 是仅有三个脚、高性能绿色能源离线式电源控制器。使用 ACT30A 驱动外接 400 伏 NPN 三极管例如 13002 ($V_{CB0} = 600V$) 是典型的达到超低成本开关电源方案。此应用尤其适合小功率充电器上成本控制敏感的地方，例如手机充电器、MP3 播放器的充电器等。本文内容包括样机照片、电路图、PCB 绘制图、材料清单、变压器文件和性能测试数据。

2. 样机照片

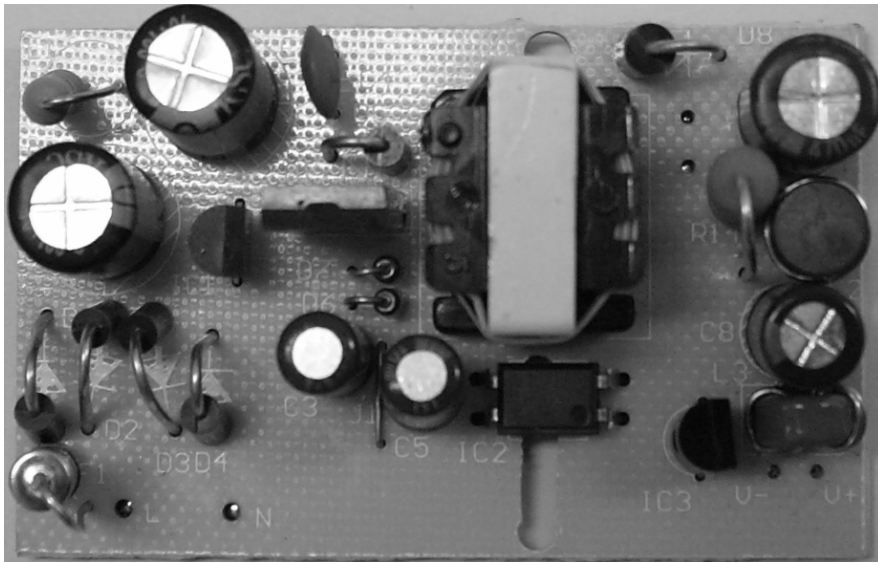


图 1, 正面 (68mm x 35mm x 22mm)

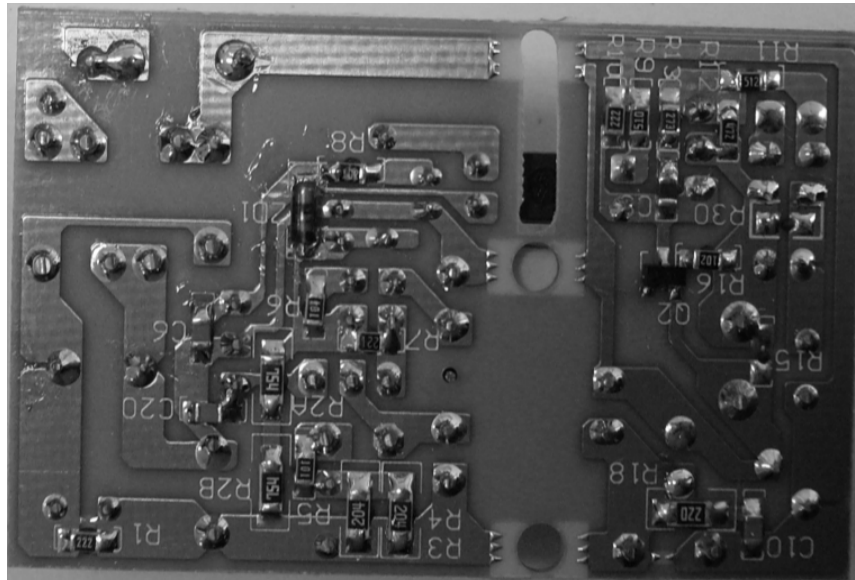


图 2, 背面(68mm x 35mm x 22mm)

3. 电路图

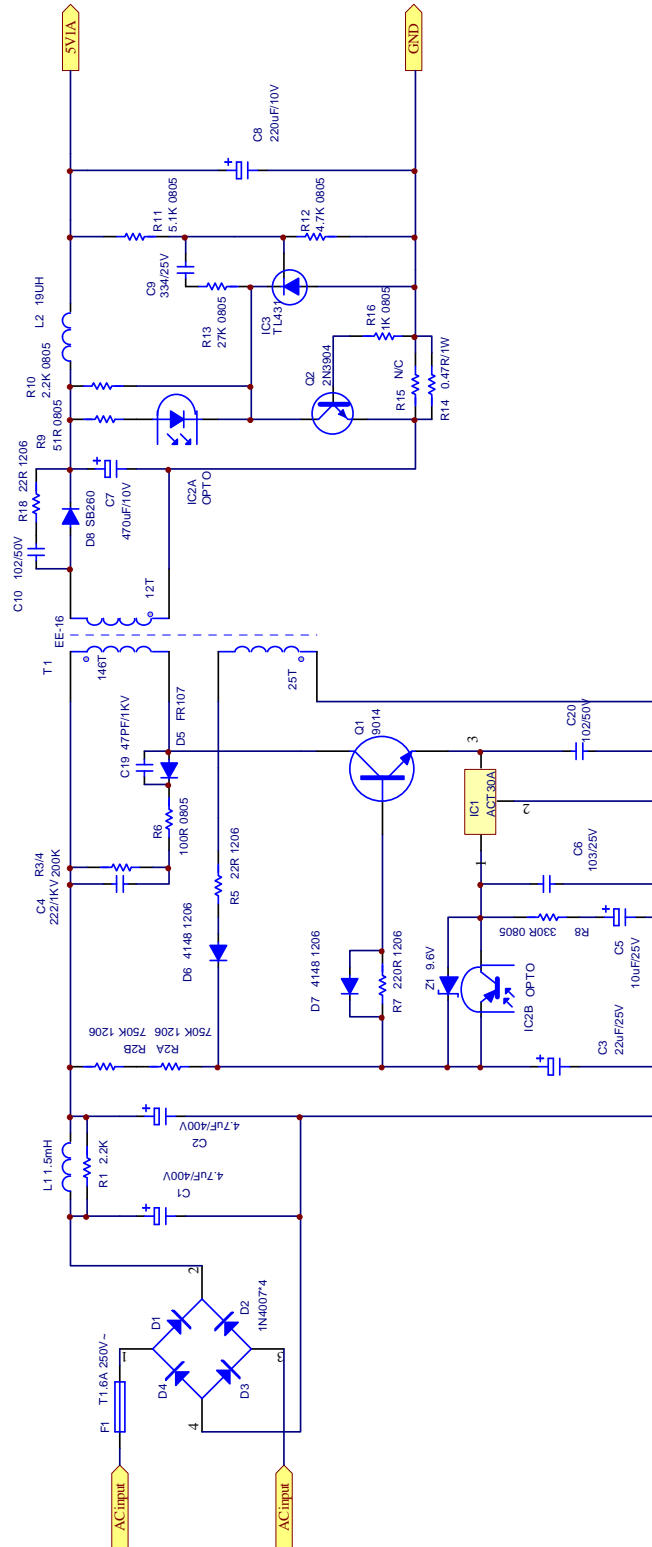


图 3, 电路示意图

4. 电路说明

4.1. 输入和 EMI 滤波器

此应用电路适用于全电压范围交流 85V~264V 输入。F1 是输入过流保护的保险丝。大电容 C1、C2 和电感 L1、组成 EMI 滤波器，也为后面直流转直流开关电路提供能量存贮。与 L1 并联的 R1 帮助改善 EMI 性能。

4.2. 初级电路

R2 和 C3 组成启动电路。R3, R5, C4 和 D5 组成缓冲吸收电路，用于消耗初级漏感在开关导通时存贮的能量。R6, D6, C3 与 T1 的辅助绕组组成电源提供给 IC 和三极管 Q1 的驱动电路使用。稳压管 Z1 吸收产生在 VDD 脚位上的过电压。D7 和 R7 用于主开关三极管 Q1 的基极驱动控制，R7 的值可由下式进行估算：

$$R7 \leq \frac{(V_{c3_min} - 0.6 - I_c * R_{on}) * \beta}{I_c}$$

V_{c3_min} 是 VCC 最低电压， R_{on} 是 ACT30A 内部开关导通电阻。 β 是开关三极管 Q1 的电流放大倍数。为了保证三极管的饱和导通， I_c 应该用电流最大值进行计算。例如，VCC 最低电压设计为 10V， I_{cmax} 设计为 0.4A， R_{on} 为 3.6Ω 并且 β 根据三极管的规格为 20，那么

$$R7 \leq \frac{(10 - 0.6 - 0.4 * 3.6) * 20}{0.4} = 458$$

为保证短路时三极管能够饱和导通，可由下面的关系式确定 R7 的最小值：

$$R7 \geq \frac{(V_{SW-OFF} - I_{cmax} * R_{onmax}) * \beta}{I_{cmax}}$$

V_{SW-OFF} 即 SW 欠压点 IC 设定为 6.8V，那么：

$$R7 \geq \frac{(6.8 - 0.4 * 3.6) * 20}{0.4} = 268$$

考虑到反馈延时会引起 I_{cmax} 比设计大并且 IC 高温时导通电阻会增加，因此 R7 应该比上述估算值小一些，通常，150 到 250Ω 的电阻值适合在这个电路使用。

4.3. PWM 控制

PWM 脉冲信号是通过 ACT30A 的 3 脚输出的。ACT30A 是采用三极管或场效应管射极驱动峰值电流控制模式。应用在反激拓扑中，一个极低成本的 NPN 双极性三极管 13002 和 ACT30A 搭配使用很容易实现开关动作以及适合必需的耐压等安全要求。由于电流检测功能已经集成在 IC 内部故不需要外接检测电阻。IC 提供输出过流保护和欠压保护功能。

4.4. 次级电路

次级能量通过肖特基二极管 D8 (SB260) 整流输出得到。R17 和 C10 减少 D8 的反向电压压力，C7 随着 LC 滤波器做能量缓冲电容，L2 和 C8 减少输出纹波电压。共模电感 L3 进一步减少共模干扰。

4.5. 反馈控制回路

TL431、NPN 三极管 Q2 和光耦 IC2 组成反馈控制电路部分。本电路有两种工作模式，即 CV(恒压)和 CC(恒流)模式。当工作在 CV 模式，R11 和 R12 作为分压电阻器，输出电压通过分压电阻器检测到与 TL431 (IC3) 内在基准电压进行比较，输出电压反馈信号因此通过 IC2 转移到了初级。R13 和 C9 帮助改善动态负载时的瞬态响应。R10 提供最小偏置电流给 TL431。反馈补偿网络包括次级 (R11、R13、C9、R9) 和初级 (R8、C5、C6) 两部分，下面的关系式将帮助选择 R8、C5 和 C6 的合适值。补偿转移函数如下：

$$\frac{V_{fb}}{V_o} = \frac{1 - \frac{(R_{13} + \frac{1}{sC_{11}})}{R_{11}}}{R_9} * CTR * \frac{R_8 C_5 s + 1}{s(R_8 C_5 C_6 s + C_6 + C_5)}$$

$$\frac{V_{fb}}{I_{fb}} = \frac{R_8 C_5 s + 1}{s(R_8 C_5 C_6 s + C_6 + C_5)}$$

由于 C6 常常很小并且和交叉频率相比也仅仅只能帮助减少非常高频的增益，因此下面简化的代替公式将使用在指定的应用回路控制中。

$$f_z = \frac{1}{2\pi R_8 C_5}, \Delta G = \sqrt{\frac{1}{\omega^2 C_5^2} + R_8^2}, \Delta\Phi = \tan^{-1}(\omega R_8 C_5)$$

很容易看出更小点的 C5 能得到一个更高的零位补偿点和更高的增益，更大点 R8 也能增加增益和得到更高的相补角。为了防止 VDD 脚位电压掉到 3.53 伏以下进入欠压保护，一个 10 微法的电解电容适合在此应用电路中。

当输出电流到达输出电流限制，本电路将能通过导通 Q2 切换到 CC 模式。限制电流可用下式进行估算：

$$R14 = \frac{0.6}{I_{CC_limit}}$$

在本应用中，电流限制点设在 1.3A，R14 大约 0.5Ω。当工作在 CC 模式，反馈电流被 R9 和输出电压线性的确定并且通过 IC2 转移到初级使输出得到不同的能量。

5. PCB 绘制图

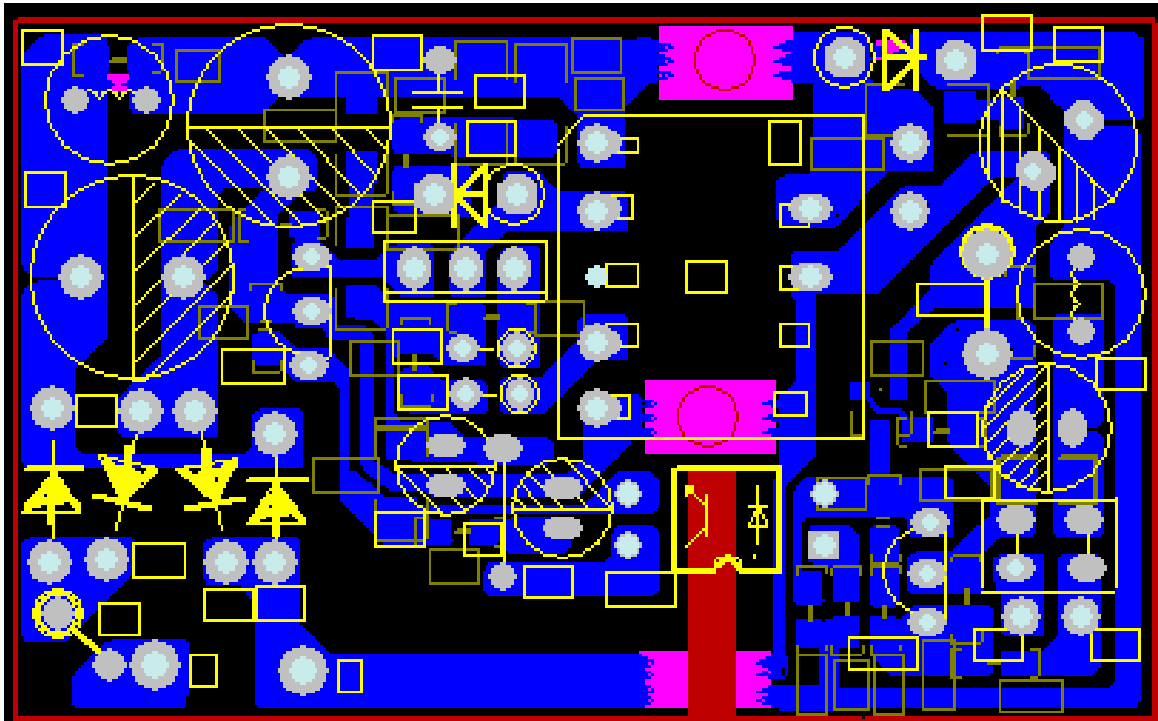


图 4, PCB 设计

6. 材料清单

序号	元件标号	描述	数量
1	R6	Resistor, 100 ohm, 5%, SMT, 0805	1
2	R2A, 2B	Resistor, 750K ohm, 5%, SMT, 1206	2
3	R3,R4	Resistor, 200k ohm, 5%, SMT, 1206	2
4	R8	Resistor, 330 ohm, 5%, SMT, 0805	1
5	R7	Resistor, 220 ohm, 5%, SMT, 0805	1
6	R9	Resistor, 51 ohm, 5%, SMT, 0805	1
7	R1,10	Resistor, 2.2K ohm, 5%, SMT, 0805	2
8	R11	Resistor, 5.1K ohm, 5%, SMT, 0805	1
9	R12	Resistor, 4.7K ohm, 5%, SMT, 0805	1
10	R13	Resistor, 27K ohm, 5%, SMT, 0805	1
11	R14	Resistor, 0.47 ohm, 1W, 5%	1
12	R16	Resistor, 1K ohm, 5%, SMT, 0805	1
13	R17.R18.R5	Resistor, 22 ohm, 5%, SMT, 1206	3
14	F1	Resistor, Fuse 1A 250V	1
15	C1,2	Capacitor, Electrolytic, 4.7uF/400V, 10x12.5	2
16	C3	Capacitor, Electrolytic, 22uF/25V, 5x11	1
17	C5	Capacitor, Electrolytic, 10uF/10V, 5x11	1
18	C7	Capacitor, Electrolytic, 470uF/10V, 8x11.5	1
19	C8	Capacitor, Electrolytic, 220uF/10V, 6.3x11	1
20	C4	Capacitor, Ceramic, 2200pF/1KV	1
21	C19	Capacitor, Ceramic, 47pF/1KV	1
22	C6	Capacitor, Ceramic, 0.01u/25V, SMT, 0805	1
23	C9	Capacitor, Ceramic, 0.33uF/50V	1
24	C20	Capacitor, Ceramic, 1000pF/100V	1
25	L1	Inductor, 1.5mH, 5x8	1
26	L2	Inductor, 10uH	1
27	L3	Inductor, Common Mode, 120uH	1
28	T1	Transformer, Lp=2.5mH, EE16	1
29	D1-D4	Diode, Rectifier, 1000V, 1A, 1N4007, DO-41	4
30	D6,7	Diode, Switching, 100V, 0.15A, 1N4148, DO-35	2
31	D8	Diode, Schottky, SB260, DO-15	1
32	D5	Diode, Ultra Fast, FR107, DO-41	1
33	Z1	Diode, Zener, 9.6V, 0.5W, DO-35	1
34	Q1	Transistor, NPN, 600V, 1.5A, E13002, TO-126	1
35	Q2	Transistor, NPN, 40V, 0.2A, 2N3904, TO-92	1
36	IC1	IC, PWM, ACT30A, TO-92	1
37	IC2	IC, OPTO, PC817C, DIP-4	1
38	IC3	IC, Regulator, TL431, TO-92	1

7. 变压器规格

7.1. 示意图

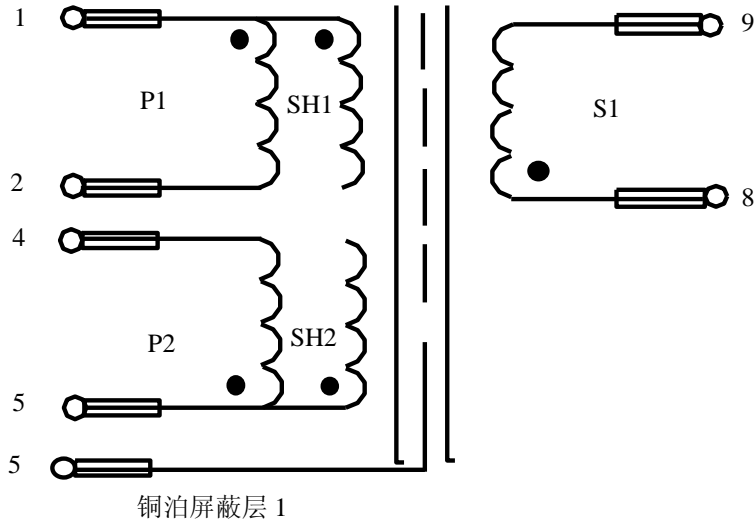


图 5, 变压器示意图

7.2. 装配表格

绕组	接线端		圈数	铜线			绝缘		挡边	
	开始	结束		类型	尺寸*数量	层数	开始	结束	初侧	次侧
SH1	1	open	15	2UEW	0.15Φ*3	1	25u/9.5mm	2		
P1	1	2	146	2UEW	0.15Φ*1	5	25u/9.5mm	2	1.5mm	1.5mm
SH2	5	open	10	2UEW	0.15Φ*3	1	25u/9.5mm	2	1.5mm	1.5mm
S1	8	9	12	TEX-E	0.45Φ*1	1	25u/9.5mm	2		
P2	5	4	25	2UEW	0.15Φ*1	1	25u/9.5mm	2	2.0mm	2.0mm

注意：SH1 & SH2 是屏蔽层，P1 & P2 是初级和 S1 是次级。

7.3. 装配图

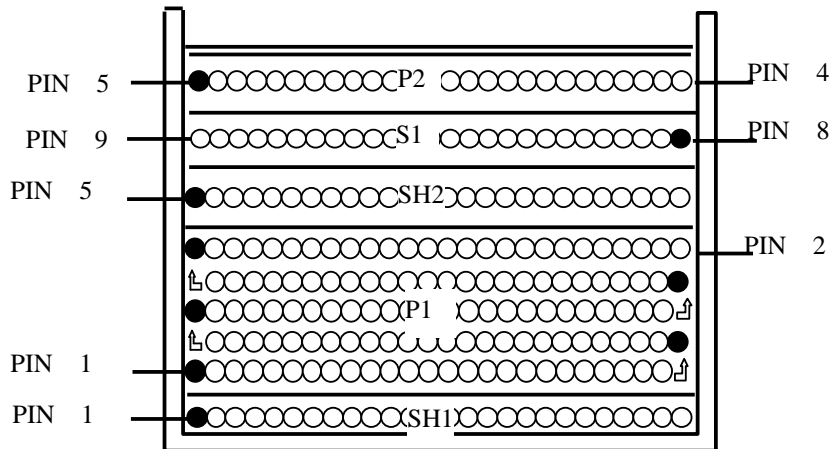


图 6, 变压器装配图

注意：

7.4. 材料清单

序号	描述
1	线架, EE16L, 卧式 I, 4 pin x 4 pin
2	磁芯, EE16L, PC40
3	铜线, 2UEW, 0.15Φ
4	铜线, TEX-E, 0.4Φ
5	绝缘胶带, 25μ/9.5mm
6	挡墙, 2.0mm/2.0mm
7	挡墙, 1.5mm/1.5mm

7.5. 电气规格

序号	描述	条件	限值
1	电气绝缘强度	60Hz, 1 分钟, pins 1-4 到 pins 5-6	3000 Vac
2	初级 P1 电感	Pin1 到 Pin2 电感量, 在 1Vac & 10kHz	2.7mH ± 0.14mH
3	初级 P1 漏感	Pin1 和 Pin2 电感量, Pin5、4 和 Pin9、8 分别短路	75μH

8. 不同输出电压的设计

Vo	Io	T1			D8	C10	C7	R14	L2	C8	L3
		P1/L _{P1}	S2	P2							L _{L3}
5V	1A	146/2.5mH	12	25	2A/60V	1000p	470u/10V	0.47	15uH	220u/10V	120uH
9V	0.56A	146/2.5mH	21	25	2A/100V	1000p	470u/16V	0.83	15uH	220u/16V	120uH
12V	0.42A	146/2.5mH	27	25	2A/100V	1000p	470u/16V	1.20	15uH	220u/16V	120uH
24V	0.21A	146/2.5mH	53	25	2A/200V	1000p	330u/35V	2.50	15uH	100u/35V	120uH

9. 波形

9.1. 集电极电压和电流

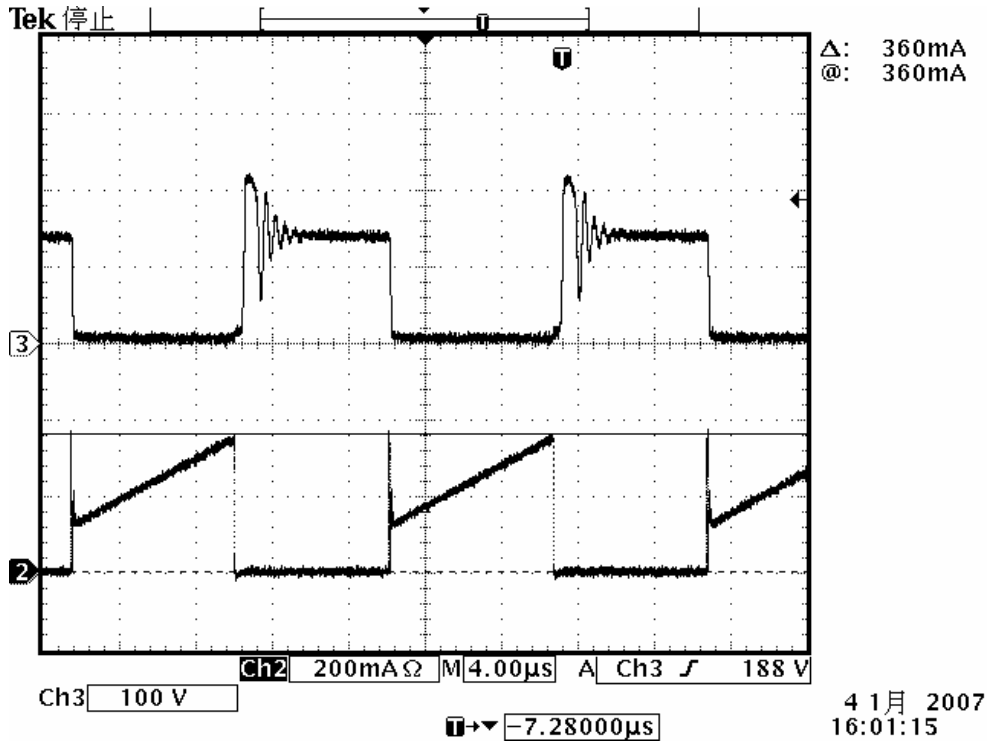


图 7, 85V 满载 (Ch3:Vc, Ch2:Ic)

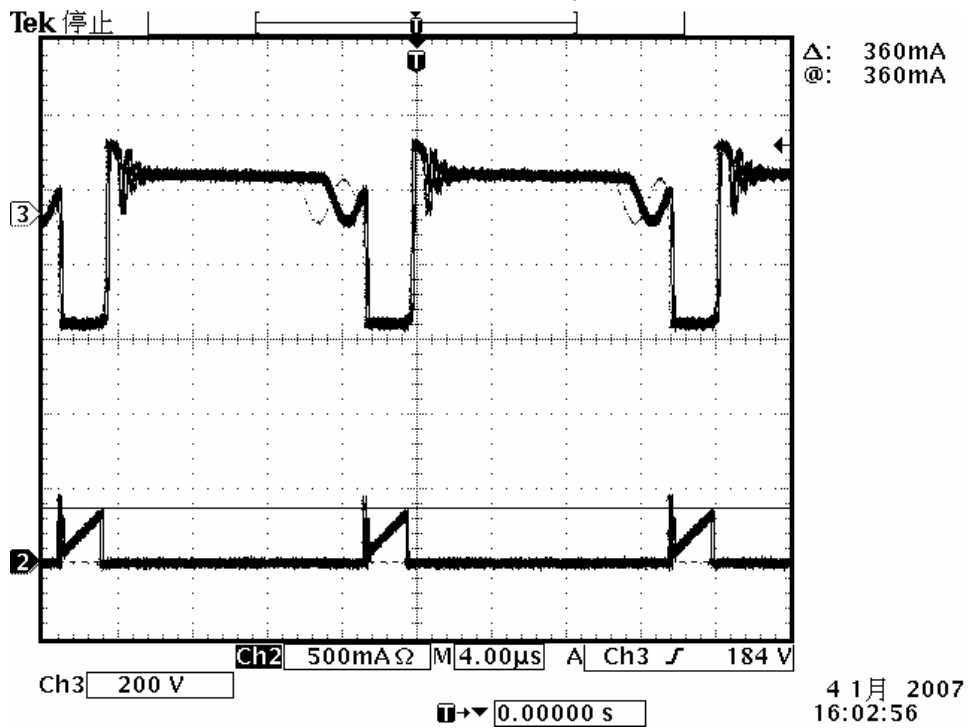


图 8, 264 V 满载 (Ch3:Vc, Ch2:Ic)

9.2 发射极电压和电流

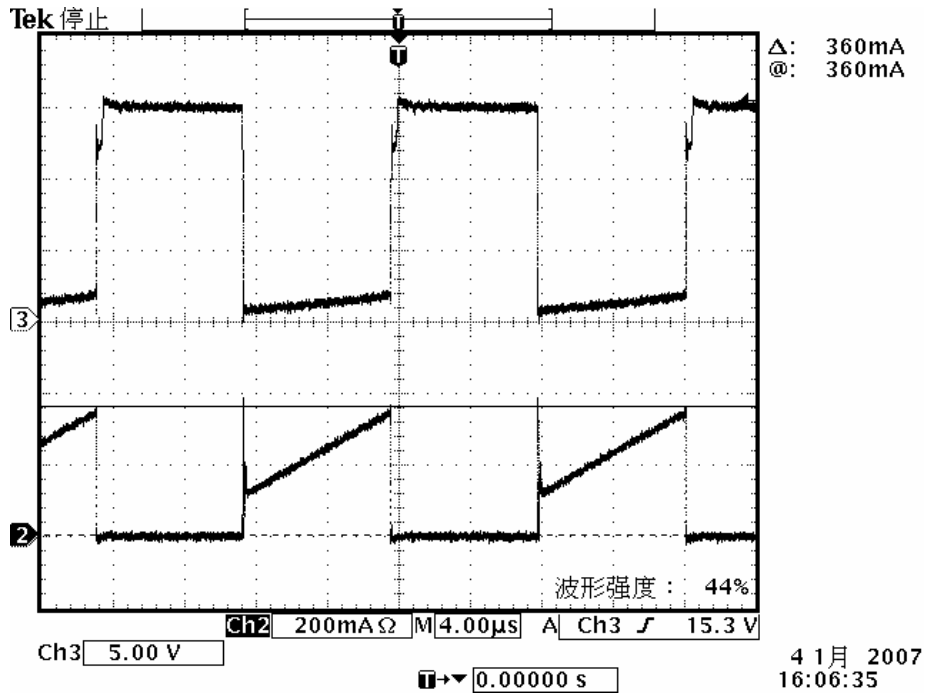


图 9, 85V 满载(Ch3:Ve, Ch2:Ic)

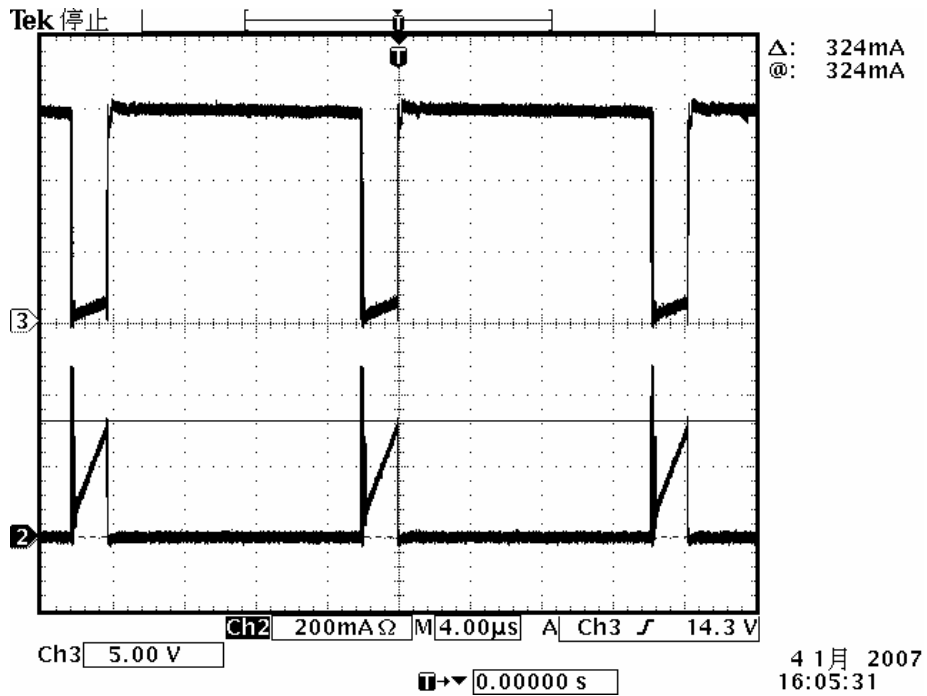


图 10, 264V 满载(Ch3:Ve, Ch2:Ic)

10. 功能测试

10.1. 待机功耗

条件	85 V _{AC} (W)	110 V _{AC} (W)	220V _{AC} (W)	264 V _{AC} (W)	绿色环保要求 (W)
0% Po=0W	0.25	0.18	0.15	0.2	0.30

10.2. 效率

VIN (V _{AC})	25% Po (1.25W)	50% Po (2.5W)	75% Po (3.75W)	100% Po (5.0W)	平均效率	CEC 要求
110	61.7%	63.0%	62.4%	61.6%	62.2%	>63.5%
220	59.5%	65.1%	64.5%	64.5%	63.4%	>63.5%

10.3. 输入电压和负载调整率

VIN (V _{AC})	0% Po (0W)	25% Po (1.25W)	50% Po (2.5W)	75% Po (3.75W)	100% Po (5.0W)	电压限值 (V)
85	5.205	5.145	5.083	5.025	4.932	4.75~5.25
110	5.204	5.151	5.113	5.068	4.944	4.75~5.25
220	5.204	5.160	5.118	5.073	5.029	4.75~5.25
264	5.204	5.161	5.120	5.076	5.032	4.75~5.25

10.4. 纹波和噪声

VIN (V _{AC})	0% Po (0W)	50% Po (2.5W)	100% Po (5.0W)	纹波限值 (mV)
85	20	24	92	100
110	20	36	48	100
220	20	40	56	100
264	16	44	60	100

10.5. 开机和关机

开机	延时 (sec)	过冲 (mV)
85 V _{AC} , 0% Po=0W	2.30	0
85 V _{AC} , 100% Po=5W	2.08	0
264 V _{AC} , 0% Po=0W	0.87	0
264 V _{AC} , 100% Po=5W	0.83	0

关机	通过/不通过	要求
85 V _{AC} , 100% Po=5W	通过	无重启平稳减少
264 V _{AC} , 100% Po=5W	通过	无重启平稳减少

10.6. 恒流和过流

测试条件	85 V _{AC} (mA)	110 V _{AC} (mA)	220V _{AC} (mA)	264 V _{AC} (mA)
90% Vo	1360	1370	1370	1360
80% Vo	1320	1350	1360	1360
70% Vo	1330	1340	1340	1330
60% Vo	1320	1330	1330	1330
50% Vo	1330	1330	1330	1330

10.7. 短路与释放

输入电压	85 V _{AC}	110 V _{AC}	220V _{AC}	264 V _{AC}
Pin (W)	0.12	0.20	0.75	1.05

释放	延时 (mS)	过冲 (mV)
85 V _{AC} , 0% Po=0W	480mS	0
85 V _{AC} , 100% Po=5W	160mS	0
264 V _{AC} , 0% Po=0W	60mS	0
264 V _{AC} , 100% Po=5W	80mS	0

10.8. 动态响应

测试条件	下冲(mV)	过冲(mV)
110V _{AC} , 0%-100% load	2740	480
110V _{AC} , 50% -100% Load	1000	160
220V _{AC} , 0%-100% load	2100	480
220V _{AC} , 50% -100% Load	1000	120

10.9. 输入欠压测试

测试条件	Pin (W)	Vo (V)	注释
85 V _{AC} , 100% Po=5W	8.41	5.026	
80 V _{AC} , 100% Po=5W	7.71	5.041	
75 V _{AC} , 100% Po=5W	0	0	
70 V _{AC} , 100% Po=5W	0	0	
65 V _{AC} , 100% Po=5W	0	0	
60 V _{AC} , 100% Po=5W	0	0	
55 V _{AC} , 100% Po=5W	0	0	
50 V _{AC} , 100% Po=5W	0	0	

10.10. 拔插测试

测试条件	通过/不通过	测试限值 (cycles)
85 V _{AC} , 100% Po=5W	通过	10,000
264 V _{AC} , 100% Po=5W	通过	10,000

10.11. 老化测试

测试条件	通过/不通过	老化温度 (°C)	老化时间(hour)
220 V _{AC} , 100% Po=5W	通过	40	4.0

11. 电磁兼容测试

11.1. 传导 EMI

条件	结构	裕量(dB)	通过/不通过	测试限值
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	火线—准峰值	-9	通过	-6dB to CISPR22B
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	火线—平均值	-7.74	通过	-6dB to CISPR22B
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	零线—准峰值	-12.28	通过	-6dB to CISPR22B
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	零线—平均值	-10	通过	-6dB to CISPR22B

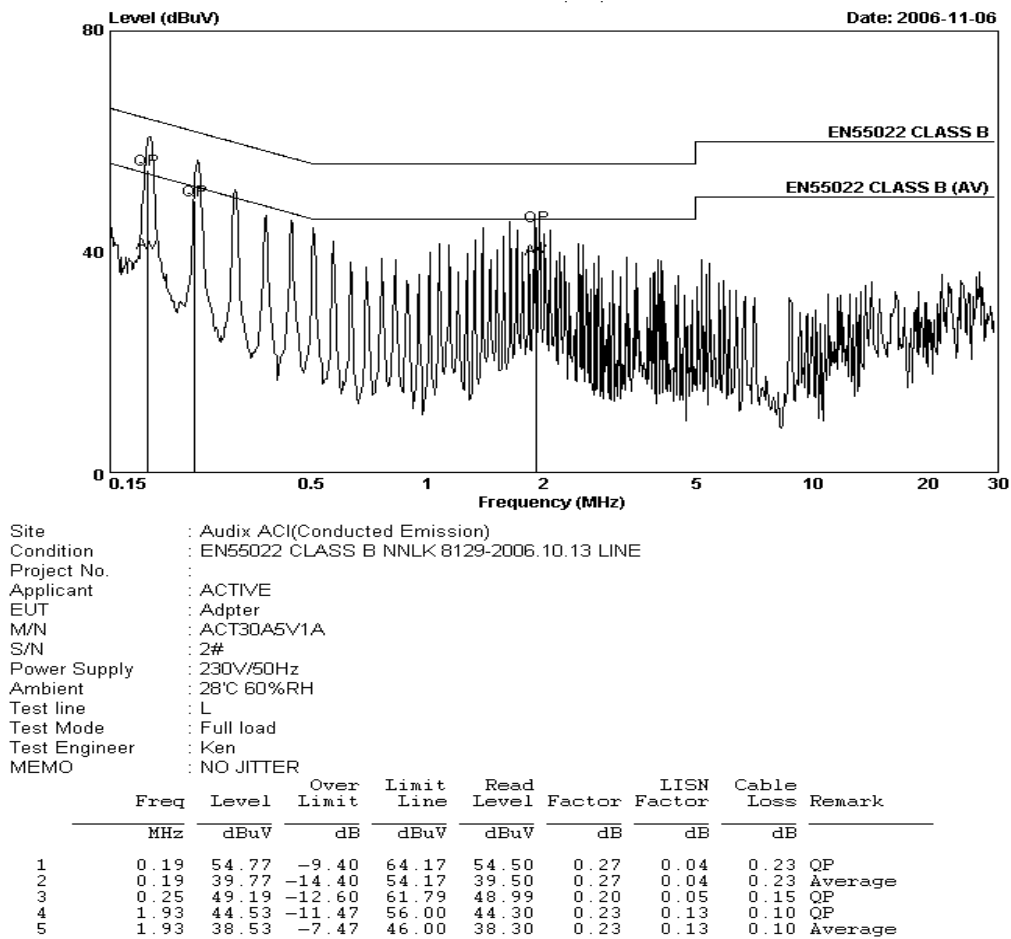


图 11, 传导 EMI, 火线

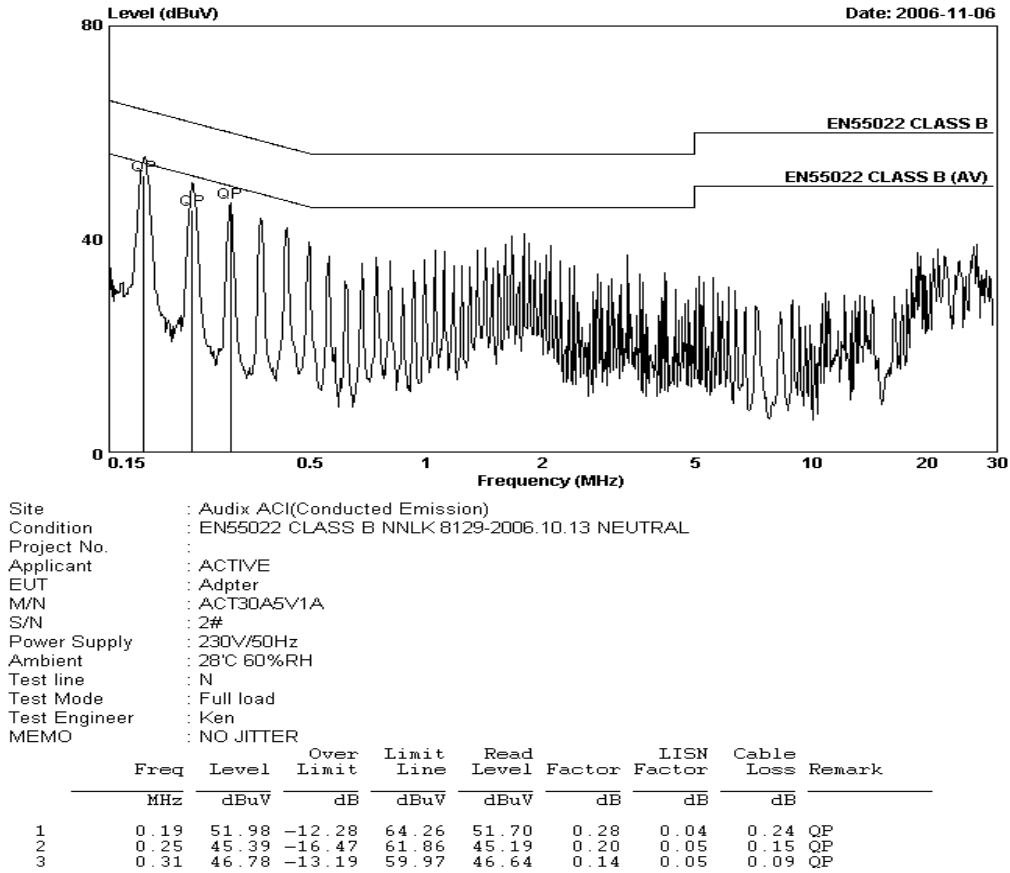
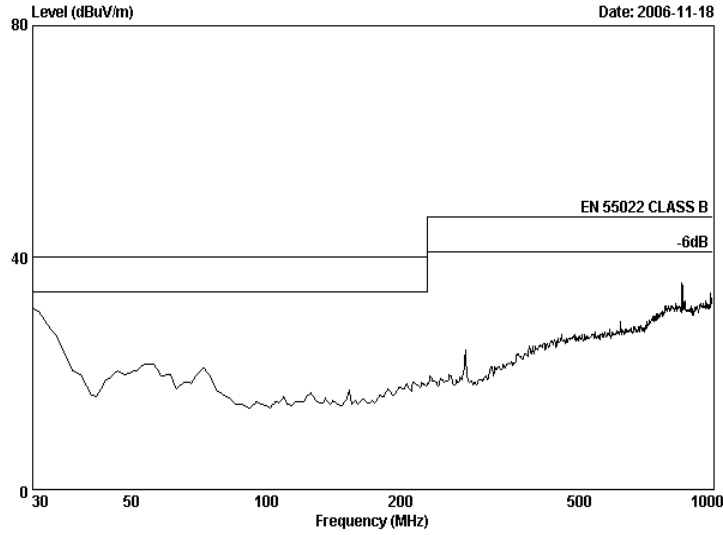


图 12, 传导 EMI, 零线

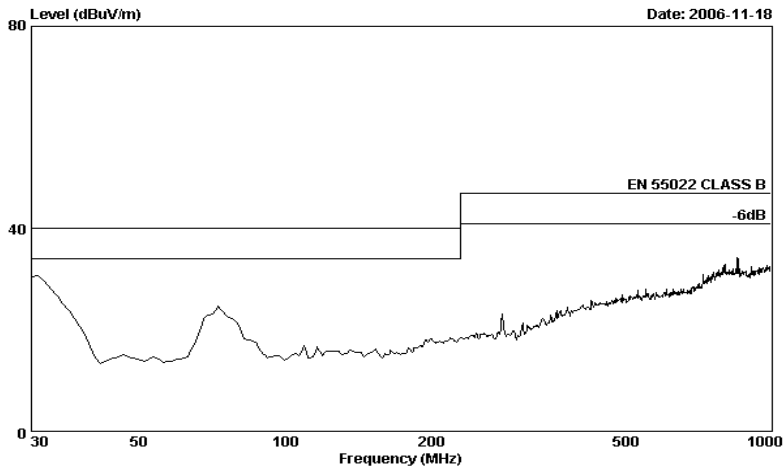
11.2. 辐射 EMI

测试条件	结构	裕量(dB)	通过/不通过	测试限值
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	垂直	-9	通过	-6dB 裕量
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	水平	-9.5	通过	-6dB 裕量



Site : Chamber 3
 Condition : EN 55022 CLASS B 3m VERTICAL
 Project No. :
 Applicant :
 EUT : Adapter
 M/N : ACT30A
 S/N : 3#
 Power Supply : 230V/50Hz
 Ambient : 22C, 60%RH
 Test Mode : 5V 1A
 Test Engineer : Leo
 Memo :

图 13, 辐射 EMI, 垂直



Site : Chamber 3
 Condition : EN 55022 CLASS B 3m HORIZONTAL
 Project No. :
 Applicant :
 EUT : Adapter
 M/N : ACT30A
 S/N : 3#
 Power Supply : 230V/50Hz
 Ambient : 22C, 60%RH
 Test Mode : 5V 1A
 Test Engineer : Leo
 Memo :

图 14, 辐射 EMI, 水平

11.3. 雷击测试

测试条件	测试方法	通过/不通过	测试限值
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	火线—零线	通过	1kV
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	火线—地线	N/A	2kV
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	零线—地线	N/A	2kV

11.4. 静电测试

测试条件	测试方法	通过/不通过	测试限值
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	接触放电	通过	8kV
220 V _{AC} , 100% P _o =5W	空气放电	通过	15kV

12. 热特性数据测试

元件标号	描述	85 V _{AC} , 100% P _o =5W, 25° C	264 V _{AC} , 100% P _o =5W, 25° C
Q1	E13002 TO-126	86.8	82.4
IC1	ACT30A TO-92	62.1	57.3
T1	EE16	81.7	80.6
D8	SB260 DO-15	90.3	88.6
R14	0.5R 1W	46.4	46.1
L2	15uH 6*8	38.6	39.2
C7	470uF/10V 8*11.5	60.7	57.5