

## 基于 PT2201 的 48W AC-DC 开关电源

### 基本特性

电流控制模式的反激式开关变换器

交流 90~264V, 50~60Hz 工作范围

平均效率和待机功耗达到能源之星 V5.0 标准

自动恢复的过流及负载短路保护功能

自动恢复的过温度保护

自动恢复的输出过压保护

工作环境温度 0~40℃, 湿度 20%~80%

### 电原理图和实物照片

电路如图1, 交流侧输入有2A保险丝F1和抗浪涌负温度系数热敏电阻NTC1。CX1和FL2组成差共模EMI滤波器, BD1是全桥整流器, C1为高压母线电容。T1, Q1, D51组成反激式电路架构, U1为电流控制型PWM控制IC。当接通交流市电, 母线电压经由R3, R4为IC PT2201提供启动电流, 当VCC电压达到芯片启动电压, 芯片开始工作, 随着输出电压的上升, 当变压器辅助绕组正向电压超过芯片最低工作电压时, 芯片供电电流开始主要由变压器辅助绕组供电。二次侧芯片TL431提供反馈电压比较基准2.5V以及误差放大信号, 经由光耦隔离放大, 产生原边的反馈控制信号FB, 作为电流内环的一个比较基准, 控制原边MOS管的峰值电流, 从而实现输出的恒压控制。R7, R8用于设置MOS管最大峰值电流, 从而实现限功率控制。

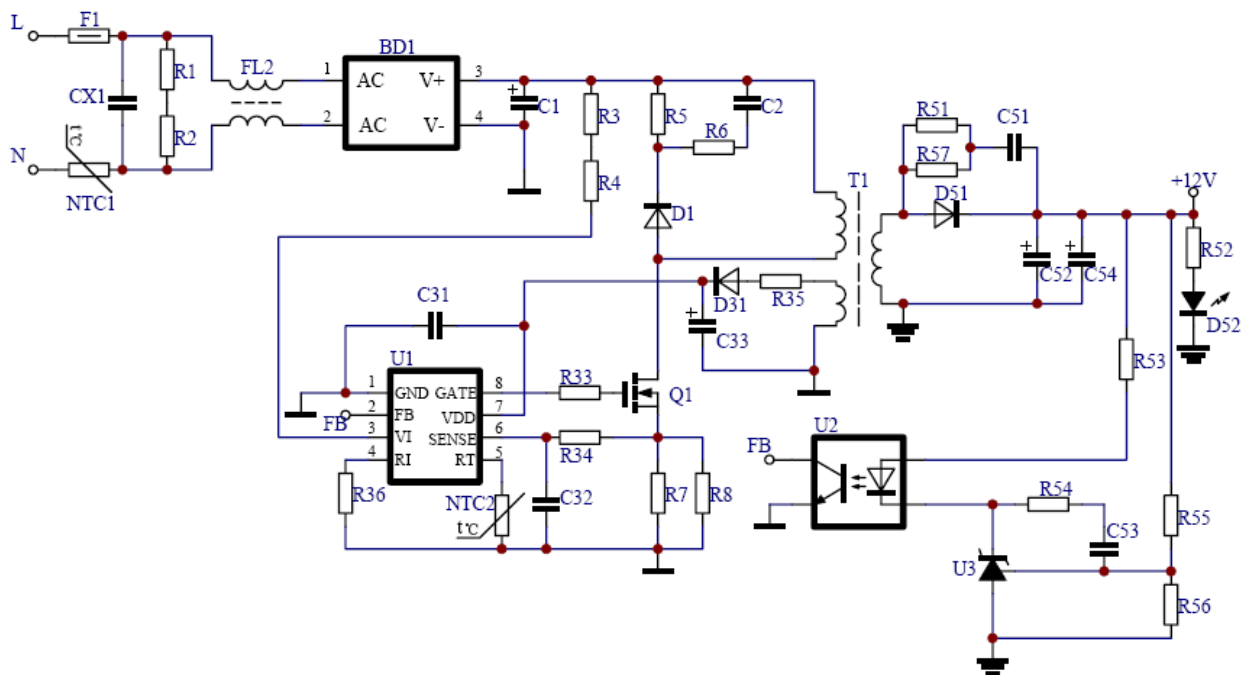


图1 电原理图

图2是电源的实物照片，44个元件安装在 $86 \times 45 \times 25\text{mm}$ 的环氧单面印制板上，PCB走线按照电力电子规范要求设计。

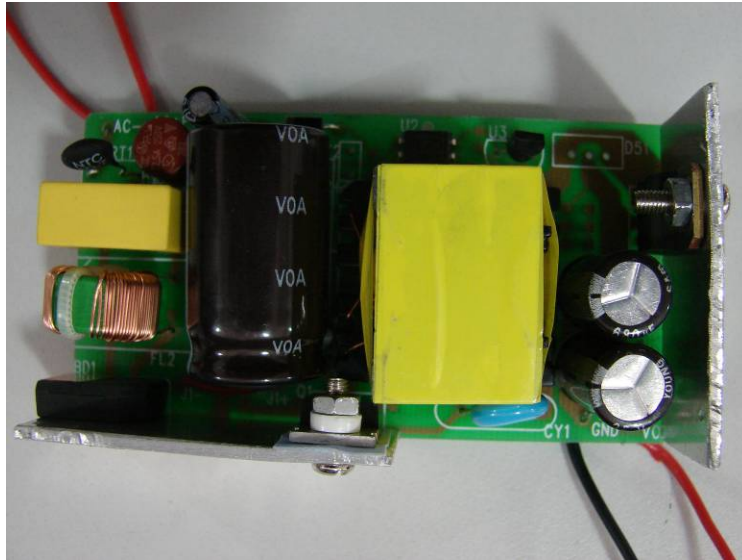


图2 实物照片

## 电气参数和 BOM

电源主要电气参数如表1所示，表中开关频率为最高工作频率，测试条件为额定负载。在全电压输入范围内，实现额定功率48W输出，实际最大输出功率超过60W。表2是详细的材料清单，为了保证质量，尽量选用推荐产商的元器件。

表 1：电气参数表

输入电压 (Vac)	90~264
输入电流 (A)	<1
输入频率 (Hz)	50-60
开关频率 (KHz)	65
输出电压 (V)	24
输出电流 (A)	0~2

表 2：材料清单

序号	元件	名称	型号	厂商
1	BD1	整流桥	KBP206	PAN JIT
2	C1	铝电解电容	100uF/400V	NICHICON
3	C2	陶瓷电容	2200pF/1KV	AVX
4	C31	陶瓷电容	1uF/25V	AVX

5	C32	陶瓷电容	22pF/50V	AVX
6	C33	铝电解电容	22uF/50V	NCC
7	C51	陶瓷电容	1000pF/1KV	AVX
8	C52, C54	铝电解电容	680uF/25V	NCC
9	C53	陶瓷电容	100nF/25V	AVX
10	CX1	X 电容	0. 22uF/275V	HUA JUNG
11	CY1	Y 电容	4700pF/250V	MURATA
12	D1	快速恢复二极管	BYV26E	VISHAY
13	D31	快速恢复二极管	FR107	VISHAY
14	D51	肖特基二极管	STPS41H100CT	ST
15	D52	发光二极管	LED_0	EVERLIGHT
16	F1	保险丝	2. 5A/250V	Cooper
17	FL2	共模电感	16mH	
18	Q1	功率场效应管	FQP8N60	INFINEON
19	R1, R2	SMD 电阻	1M (1206)	TY-OHM
20	R3, R4	SMD 电阻	560K (1206)	TY-OHM
21	R5, R6	SMD 电阻	200K (1206)	TY-OHM
22	R7, R8	SMD 电阻	1R 1% (1206)	TY-OHM
23	R33	SMD 电阻	47R (0805)	TY-OHM
24	R34	SMD 电阻	100R (0805)	TY-OHM
25	R35	SMD 电阻	10R (1206)	TY-OHM
26	R36	SMD 电阻	100K (1206)	TY-OHM
27	R51, R57	SMD 电阻	100R (1206)	TY-OHM
28	R52, R54	SMD 电阻	10K (0805)	TY-OHM
29	R53	SMD 电阻	1k (0805)	TY-OHM
30	R55	SMD 电阻	36K (0805)	TY-OHM
31	R56	SMD 电阻	4. 11K (0805)	TY-OHM
32	NTC1	热敏电阻	5ohm	GE Infrastructure
33	NTC2	热敏电阻	470k	GE Infrastructure
34	T3	变压器	PQ26/20	Crpowtech
35	U1	控制芯片	PT2201	Crpowtech
36	U2	光耦	PC817	VISHAY
37	U3	稳压三极管	TL431	ON

## 实测波形

### 1. 稳态输出电压，纹波电压波形

图3，图4分别为输入100Vac，输出为满载时输出电压和纹波电压波形。测量条件：输出线0.5m，输出线末端并联22 $\mu$ F电解电容，测量线端电压。由图可见输出电压具有较好的稳定性，纹波电压小于0.5V，输出电压在5%的电压调整范围之内。当输入电压为90~264Vac，输出为全负载范围，输出电压基本维持不变，具有良好的输入电压和负载调整率特性。

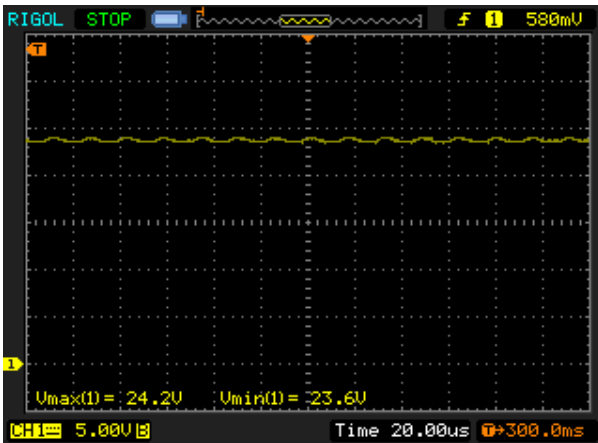


图3 输出电压波形

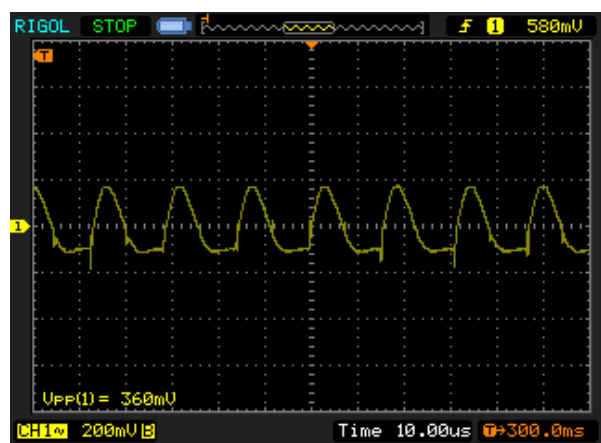


图4 纹波电压波形

### 2. 动态负载输出电压波形

图5所示为动态负载情况下的输出电压波形，测试条件为输入100Vac，负载从半载到满载跳变，跳变频率为1kHz，上升下降斜率为0.1A/uS，由图可见，电源具有很好的动态负载电压调整率特性，响应时间和过冲都控制在较小的电压范围以内。

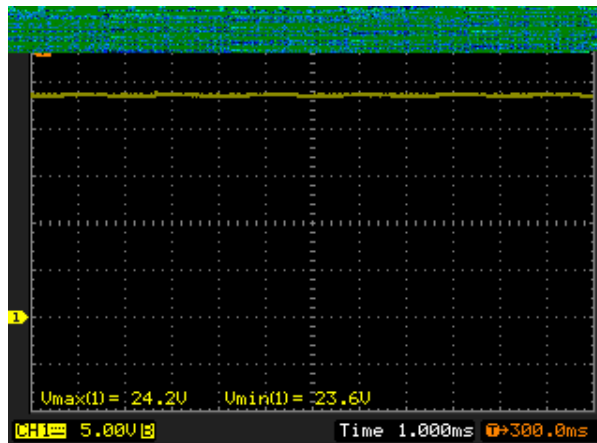


图5 动态负载输出电压波形

### 3. 满载，轻载，空载Vg，Vds波形

图6为输入100Vac，输出满载情况下，驱动Vg和MOS管漏源电压Vds波形，占空比为49.7%，工作频率为63.7kHz，电路工作在临界连续模式，保证了较高的低压满载效率，参考表4。

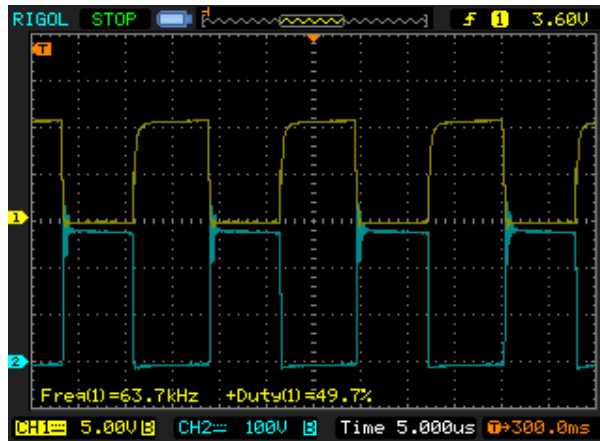


图6 驱动及MOS管漏源电压波形

图7为输入100Vac，输出0.3A情况下，驱动和MOS管漏极电压波形，工作频率45kHz，电路开始工作在DCM降频模式，降低开关损耗，保证轻载时的工作效率，参考表4。

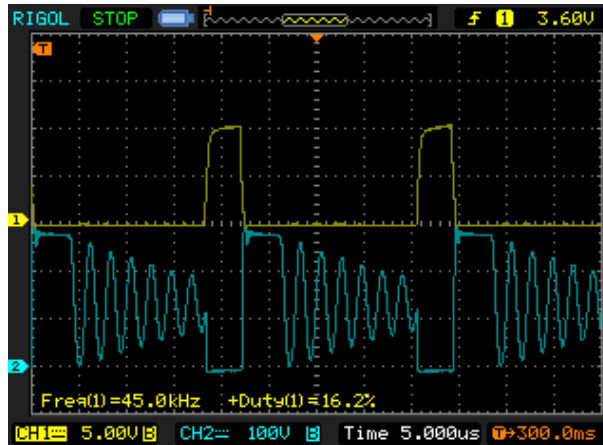


图7 驱动及MOS管漏源电压波形

图8，图9为输入100Vac，输出空载情况下，驱动和MOS管漏极电压波形，电路工作在突变模式，突变时间间隔5.72ms，减低开关损耗，因而降低了待机功耗，参考表3。脉冲工作期间的工作频率为21.93kHz，避免了可能出现的音频噪声。

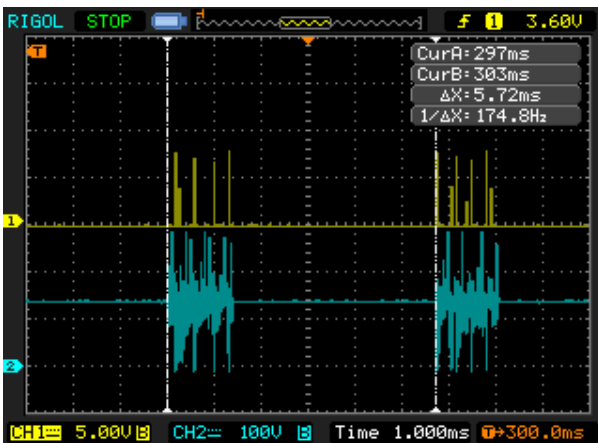


图8 突变模式电压波形

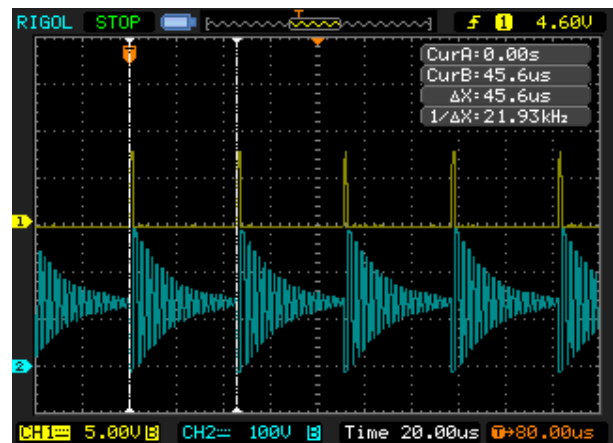


图9 驱动及MOS管漏源电压波形

#### 4. 输出电压上升, 下降波形

图10, 图11分别为输入100Vac, 输出满载条件时输出电压上升, 下降波形, 上升时间为6.92ms, 下降时间为15.6ms, 具有较快的输出响应特性。

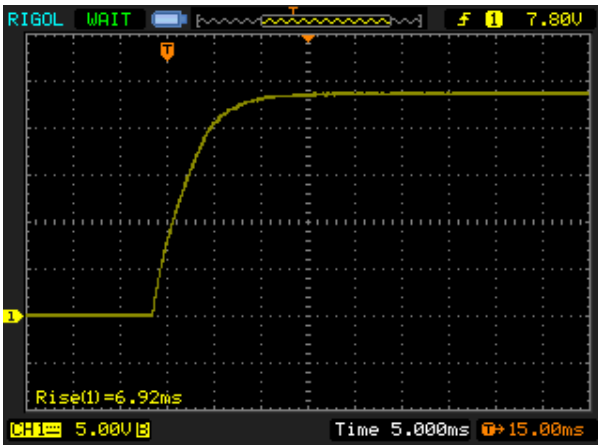


图10 电压上升波形

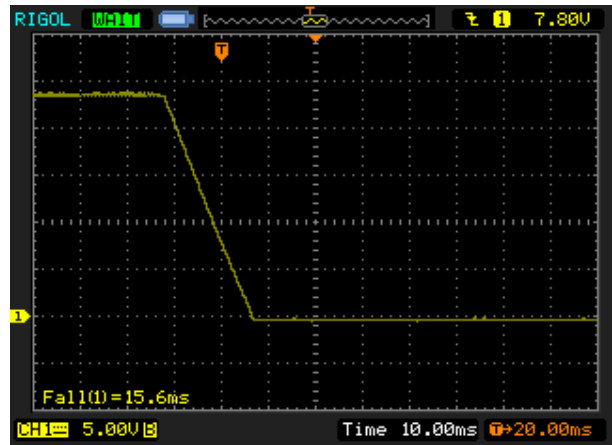


图11 电压下降波形

#### 5. 过流保护输出波形

图12为输入100Vac时的过流保护波形, CH1为采样电阻上电压波形, 采样电阻0.25ohm, CH2为Vo, 由图可知, 当最大输出电流为2.5A左右时, 电路检测到过流信号, 进入突变工作模式, 当过流故障排除后, 电路自动恢复正常工作。

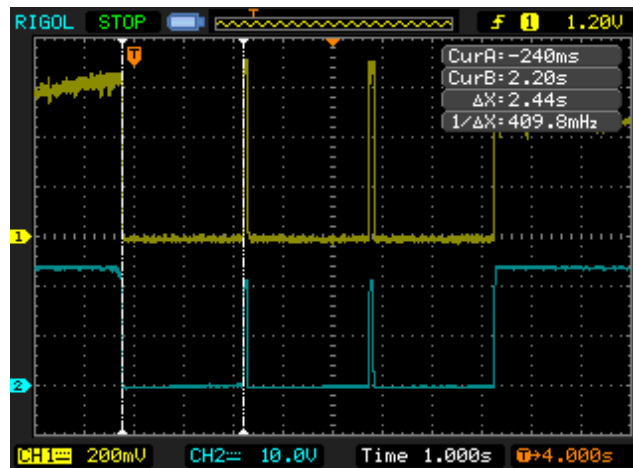


图12 过流保护波形

#### 6. 短路保护输出波形

图13为输入100Vac时的短路保护波形, 由图可知, 短路情况下, 电路工作在突变工作模式, 当短路故障排除后, 电路自动恢复正常工作。



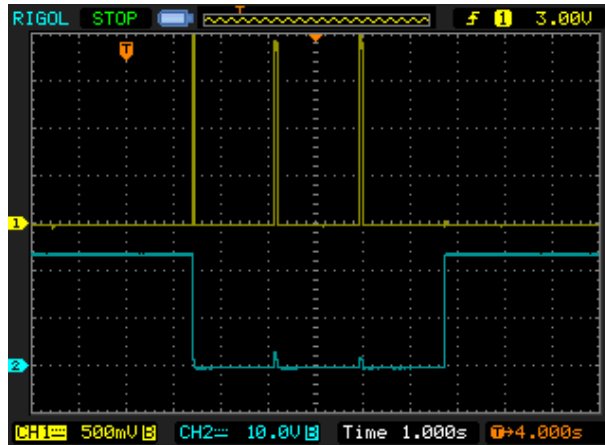


图13 短路保护波形

## 7. 过温保护波形

将NTC放置在温度较高的元件旁，例如变压器或MOSFET。假设选用470K的NTC做过温保护。当NTC检测到温度达到100℃时，其阻值会变化为15K左右，这时候，IC第五引脚上的电压会变成1V左右，因为IC内部有个70uA左右的恒流源，不同的温度对应不同的RT引脚控制电压，如果该引脚电压低于芯片内部过温保护设定电平1.065V时，芯片进入保护模式。

为了验证过温工作模式，本文采用普通插件电阻模拟过温情况下NTC的阻值，图14是RT2为10K时RT引脚电压以及MOS管驱动波形，此时，RT引脚电平低于1V，芯片进入突变工作模式，此时输出电压几乎为零（空载时输出为2~3V），图15是RT2为20K时RT引脚电压以及MOS管驱动波形，此时，RT引脚电平高于1V，电路自动恢复正常工作。

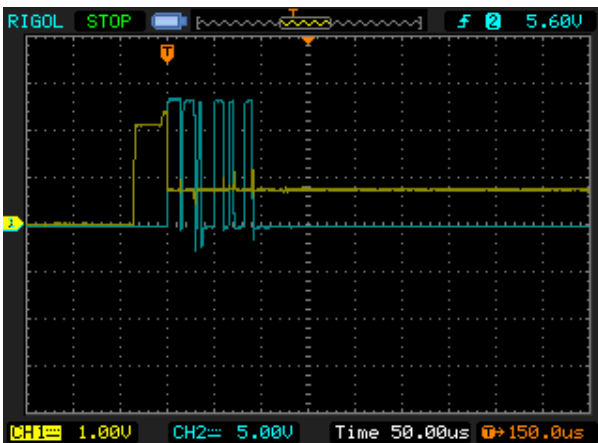


图 14 OTP 保护发生

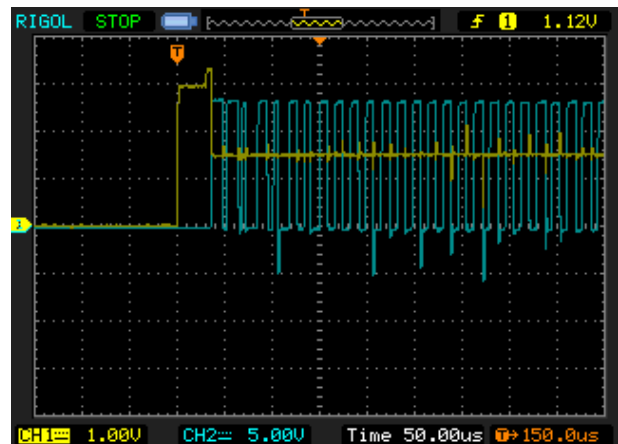


图 15 OTP 保护排除

## 8. 过压保护输出波形

图16为输入100Vac，输出满载时的过压保护波形，图17为输入100Vac，输出空载时的过压保护波形。当输出为满载时，将反馈接地电阻短路后，输出电压上升，由于受原边控制IC限功率的控制，当Vo达到14V左右时，芯片进入过功率保护模式，当输出为空载时，将反馈接地电阻短路后，输出电压上升，当Vo达到25V左右时，原边控制IC内部过压保护启动，电路进入突变工作模式，当过压故障排除后，任何负载条件下，电路均能自动恢复正常工作。

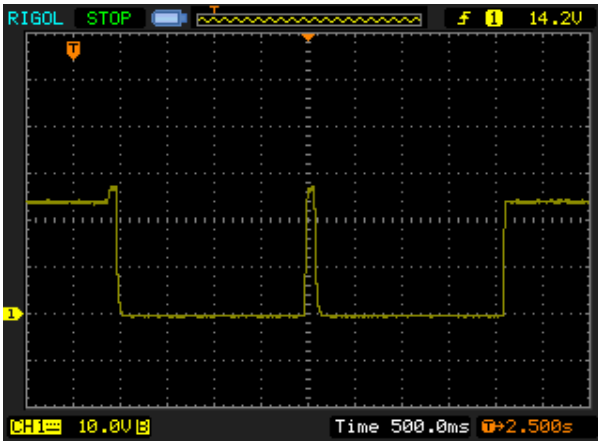


图 16 满载 OVP

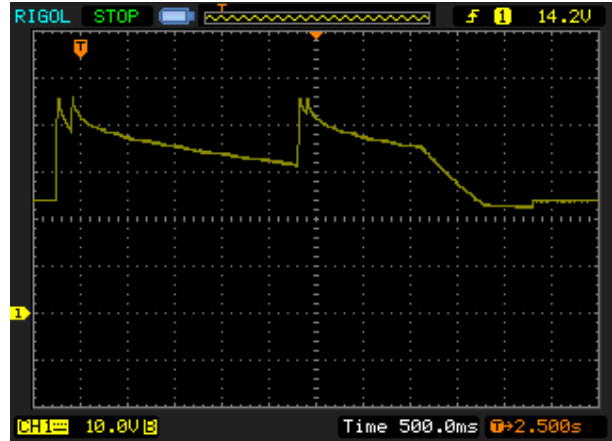


图 17 空载 OVP

## 性能参数测试

### 1. 待机功耗

表 3 为空载效率测试结果，由表可见，230V 输入情况下，输入功率为 0.25W，待机功耗达到能源之星 V5.0 标准（空载损耗<0.3W）。

表 3：空载效率

Input Voltage(Vac)	Po(W)	Energy Star V5.0 standard (W)	Pin(W)	Output Voltage(Vdc)
115	0	<0.3	0.20	24.11
230	0	<0.3	0.25	24.11

### 2. 满载和平均效率

表 4 为额定工作电压条件下的满载效率和平均效率测试结果，图 18 为效率曲线图。平均效率达到能源之星 V5.0 标准。（按照能源之星 V5.0 要求，48W 外部电源的平均效率大于 87%）

表 4：满载效率和平均效率

Vin(Vac)	Pin(W)	Vout(V)	Iout(A)	Pout(W)	Eff(%)	Ave Eff(%)
115	12.98	24.10	0.5	12.05	0.928	0.906
	26.49	29.09	1	24.09	0.909	
	40.1	24.09	1.5	36.23	0.903	
	54.48	24.08	2	48.16	0.884	
230	13.15	24.10	0.5	12.05	0.916	0.909
	26.5	29.09	1	24.09	0.909	
	39.9	24.09	1.5	36.23	0.908	
	53.42	24.08	2	48.16	0.902	



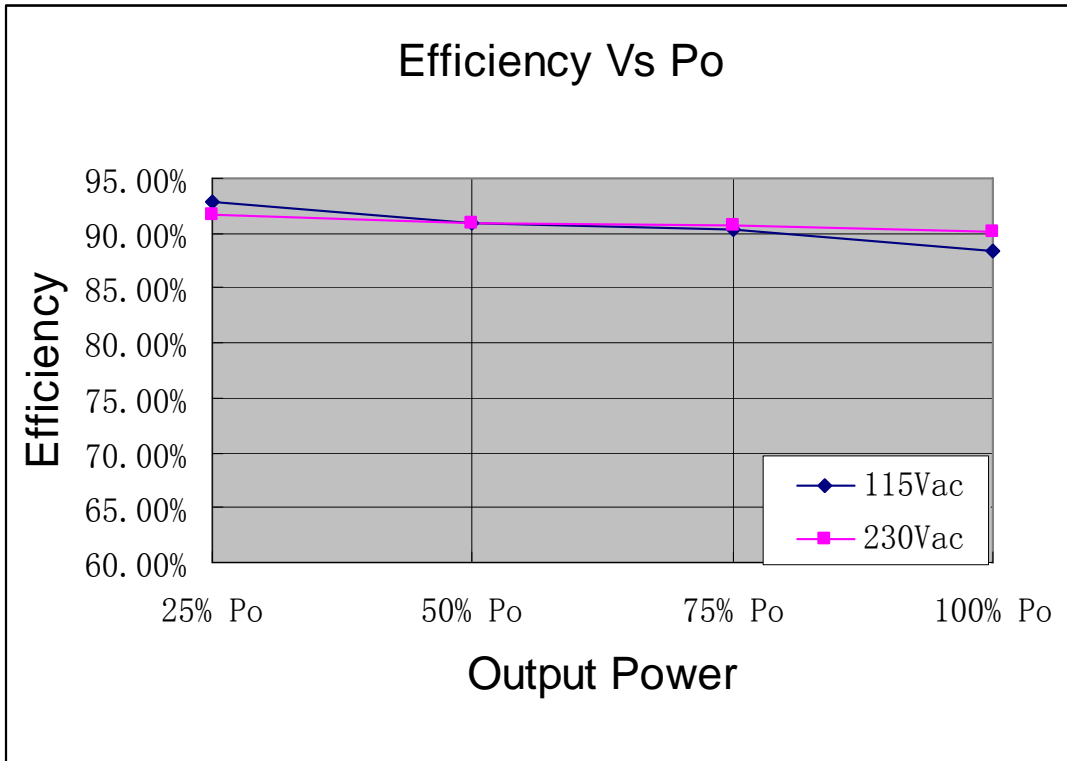


图18 效率曲线

### 3. EMI 测试

图19为EMI测试结果，20MHz附近EMI较高，需要在交流输入侧增加高频共模电感抑制。

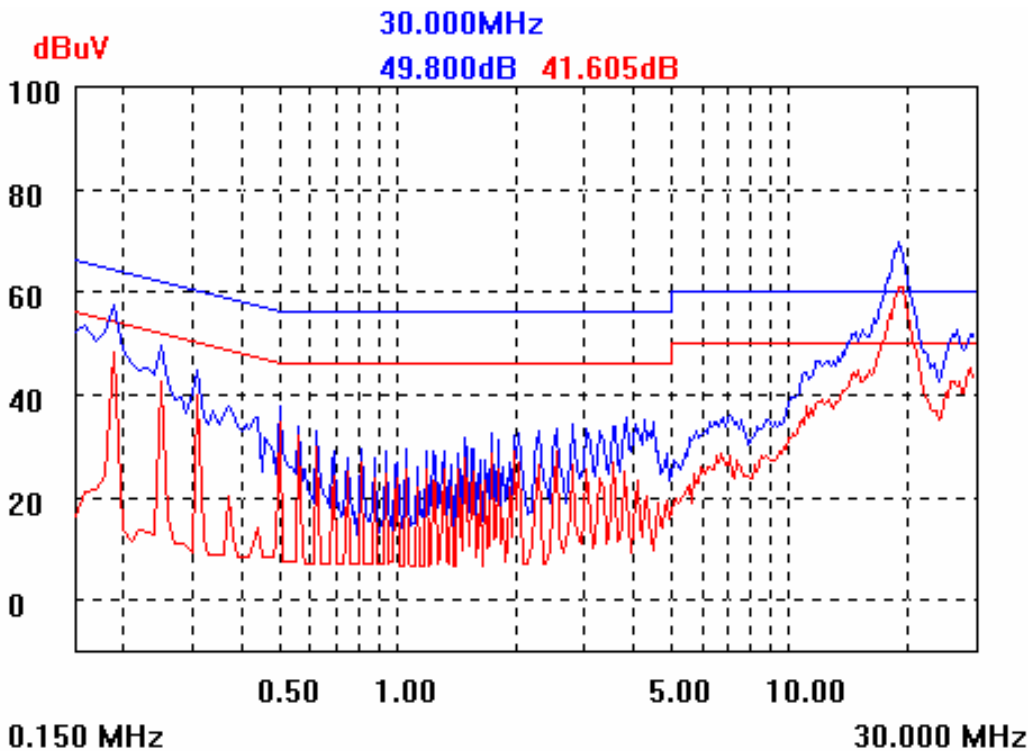


图19 EMI@220Vac