

## 基于 PT4201 的 3W E27 LED 驱动电路

### 基本特性

- 交流隔离式高频开关反激式稳压恒流模式
- 交流85~265V, 50~60Hz工作范围
- 可内置于E27灯头里安装
- 工作环境温度-40~+75 °C
- 满足IEC61000-3-2: 2001要求

### 电原理图和实物照片

电路见图 1，交流市电经 L1 之后是整流全桥 U1，L1 兼作短路保险丝。C1 是高压直流滤波电容器。U3 是低功耗 CMOS 控制器，具有 PWM 调制、过压、过流保护等功能。U3 内集成的门驱动电路能驱动 700nF 的容性负载，功率 MOS 管 Q1 用于电流开关。D2、R1、C3 组成吸收网络，把高压 MOS 管漏极的反向电压箝位在安全范围之内。控制器由 R4 启动后转由辅助绕组供电，这个电压经 D3 整流，C5 滤波后提供给 U4。电阻 R7 决定振荡频率，U3 中的 PWM 脉冲具有 5%的扩频，用来降低开关辐射。电阻 R8、R9 采样 MOS 管的源极电流，用于峰值电流限制。次级绕组感应的反激电流经 D1 整流。C2 滤波后提供给负载。控制环路由 U2、D4、R2、R3、R6 组成，具有恒压恒流特性。

本电路的参数是为3颗1W 的LED串联设计的，输出电压是10.12~10.21V，输出电流是270~350毫安。

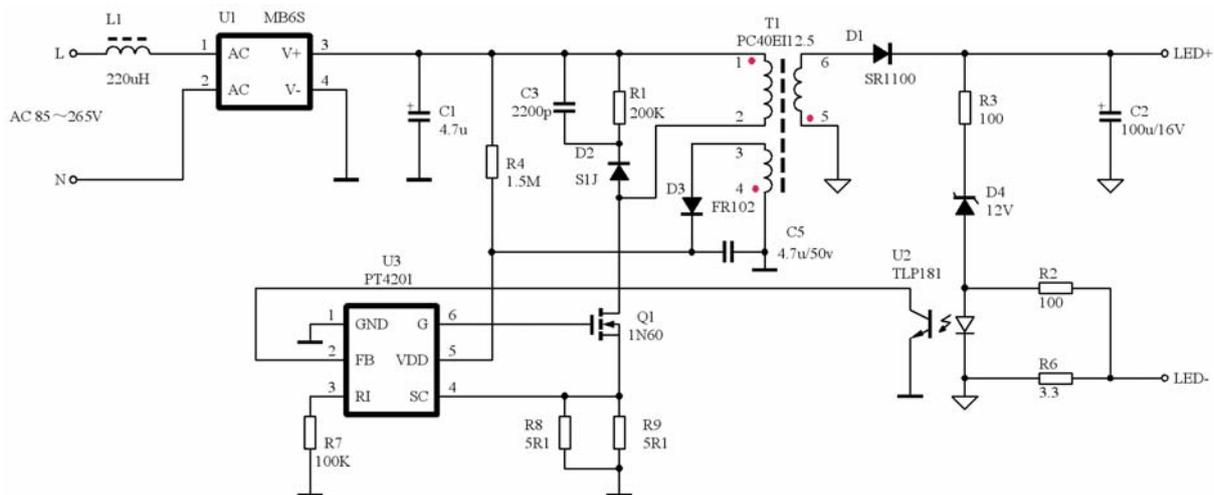


图1: 3W E27 LED射灯恒流源电原理图

图2是恒流源的实际照片，22个元件安装在25×17.5×1.0 毫米的双面环氧印制板上，PCB走线是按电力电子规范要求设计的，可以直接安装在E27灯头之中。

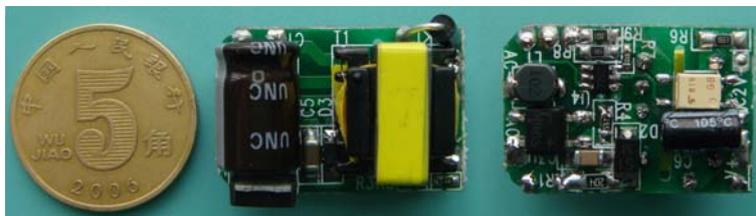


图2：3W E27 LED射灯恒流源实物照片

### 电气参数和 BOM

这个恒流源的主要电气参数如表1，表中的参数是在DCM模式下测试的。它是针对85~265V交流电源设计的，驱动不同厂商的LED输出电压会略有变化，这是LED的正向压降不同而造成的，本电路用负电阻自动补偿正向压降引起的功率变化，不会影响恒流精度。电路的元器件在成本和可靠性方面作了折中，元器件的数目已减到最低程度。表2是详细的材料表，为了保证质量，尽量选用推荐的元器件。

表 1：电气参数表

输入电压 (V)	85~265
电源频率 (Hz)	50~60
输出电压 (V)	10.5
输出电流 (mA)	330
开关频率 (KHz)	63
恒流源效率 (%)	70
功率因数	0.5
输出电压精度 (%)	5
输出电流精度 (%)	2.0

表 2：3W E27 LED 射灯恒流源 BOM

标号	描述	供应商
C1	电解电容, 4.7uF/400V, 6.3×12.5mm	Sawha
C2	电解电容, 100uF/16V, 5×8mm	Sawha
C3	陶瓷电容, 2200pF/1kV, 1206	KYOCERA MITA
C5	陶瓷电容, 4.7uF/50V, 1206	KYOCERA MITA
D1	肖特基二极管, SR1100, DIP	On semi
D2	快速恢复二极管, S1J, SMD	MCC semi
D3	快速恢复二极管, FR102, SMD	Vishay

D4	稳压管, 12V/0.5W, DIP	Microsemi Corp
L1	功率电感, 220uH/0.1A, SMD	Coilcraft
R1	贴片电阻, 200K $\Omega$ , 5%, 1206	TA-I
R2	贴片电阻, 100 $\Omega$ , 5%, 0603	TA-I
R3	贴片电阻, 100 $\Omega$ , 5%, 0603	TA-I
R4	贴片电阻, 1.5M $\Omega$ , 5%, 0805	TA-I
R6	贴片电阻 3.3 $\Omega$ , 1%, 1206	TA-I
R7	贴片电阻, 100K $\Omega$ , 1%, 0603	TA-I
R8, R9	贴片电阻 3.1 $\Omega$ , 1%, 0805	TA-I
U1	整流桥, MB6S, SMD	Diodes Inc
U2	光耦, TLP181, SMD	Toshiba
U3	PWM 控制器, PT4201, SOP23-6	PowTech
Q1	MOS 管, IN60, T0251	OTC
T1	变压器, PC40EE12.5	海宁联丰东进

## 测试波形

图 3 是交流输入电压为 220V 时 MOS 管的漏极电压波形。电路工作在 DCM 模式下，漏极电压  $V_{DS} = V_{IN} + V_F + V_R = 370V$ 。其中  $V_{DS}$  是市电经全桥整流和滤波后的高压直流，约等于 300V。 $V_F$  是开关关断后次级的反射电压，与匝数比有关，等于 45V。 $V_R$  是初级绕组的漏感引起的反向电动势，本来很高，但被吸收网络衰减后只有 25V。一般反激式变换中 MOS 管漏极上的电压应力较大，本电路仍有 230V 的裕量。

**注意，用示波器测试漏极电压一定要用专门的高压探头，否则会损坏示波器。**

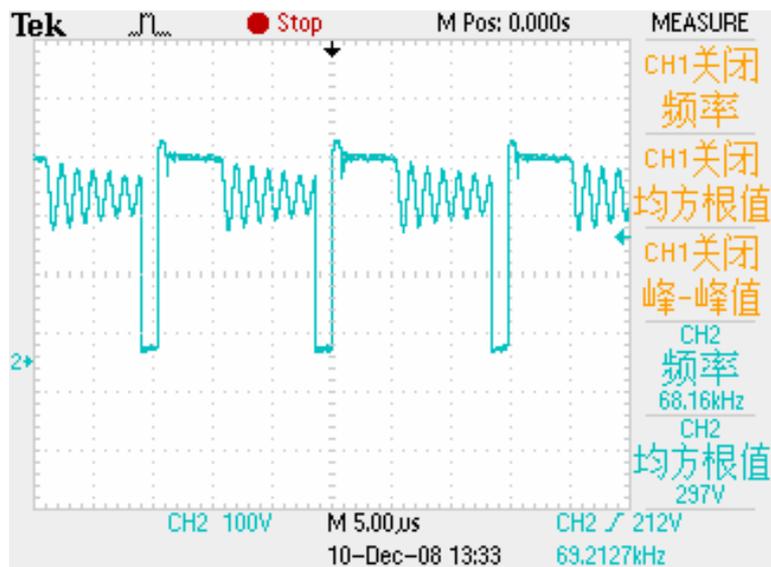


图 3: MOS 管漏极信号波形

图 4 是辅助绕组的脉冲电压整流后的直流电压波形，这个电压是 PWM 控制芯片的电

源，必须高于 12V，低于 18V。但次级输出负载加重时，这个电压会爬升，要确保爬升电压小于 25V。爬升电压是由高频变压器的漏感产生的，优化设计和改进绕制工艺可以减小漏感。

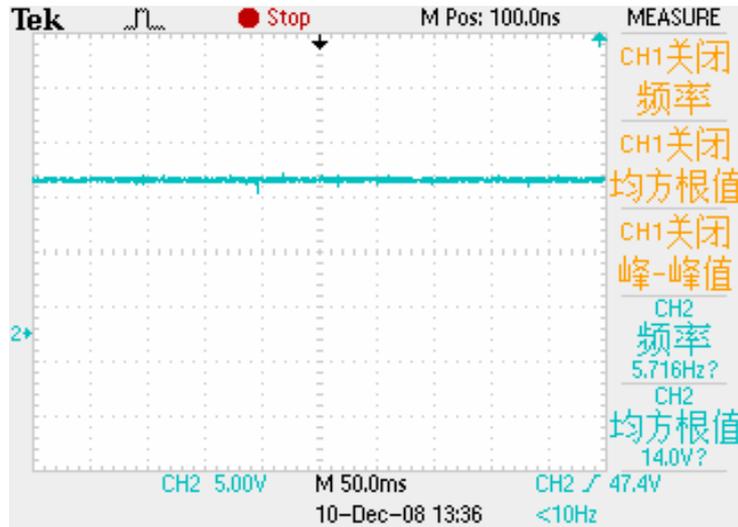


图 4：辅助绕组电压整流后的波形

图5是输出电压的波形，它是在负载电流350毫安的恒流模式下测试的。左图是输出电压，约等于10.12V。中图是纹波电压，约等于600毫伏（100微法铝电解电容器滤波）。右图是放大后的纹波电压，主要成分是次级绕组的高频反激式电压。

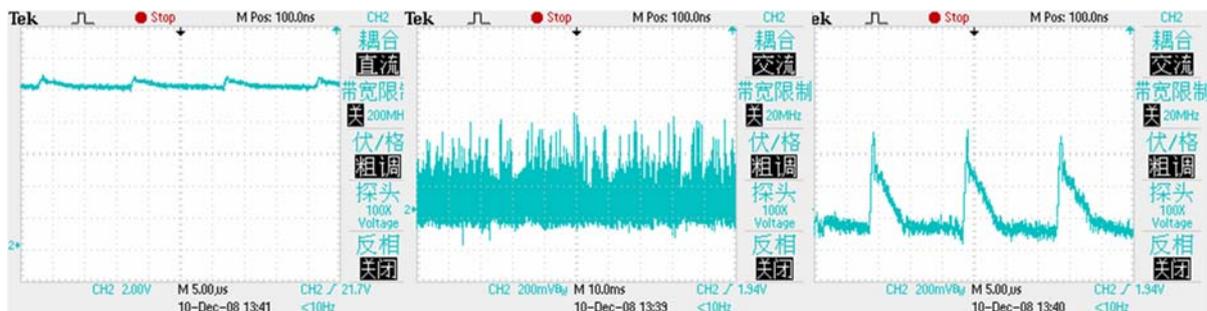


图 5：输出电压和纹波

图6是启动过程和波形。上电后750微秒后电压上升到稳定值（310V），再过500微秒PWM控制器开始工作。在不同的输入电压下启动时间会有差异，启动时间主要取决于工频滤波电容器C1的容量。

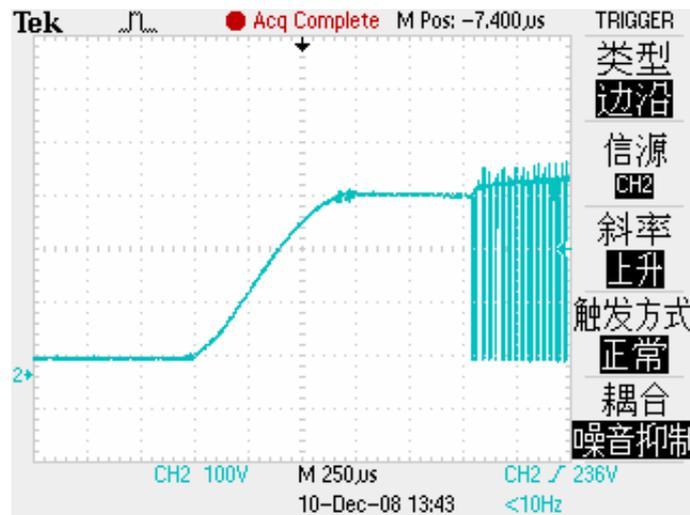


图6：启动过程和波形

图 7 是环境温度变化对输出电流的影响，测试数据来自 10 个图 2 所示的电路板的统计值。测试环境在老化箱中带载工作，在温度 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围采样记录。

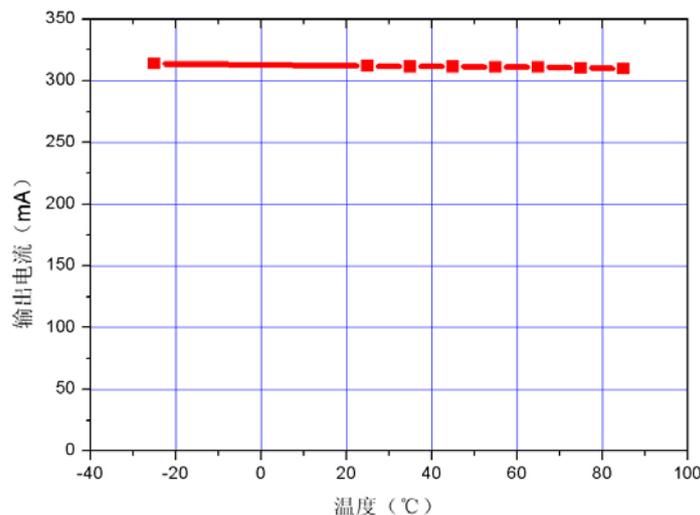


图 7：温度-输出电流特性

### 使用说明

首先检查发光管的连接情况，必须是3个1W的LED串联连接，LED管的功率可以大于1W，但不能小于1W。总电流不要大于360毫安，总功率不要超过4.5W。

稳压恒流源板用2线电源线接220V市电，L接火线，N接地线，允许市电有 $\pm 15\%$ 的波动。虽然本电路具有短路保护和开路保护功能，在调试过程中仍要求先接好LED后再接通电源，避免带电接LED，否则会损伤LED，缩短使用寿命。

该电路板可以直接用于生产，由于属于微型功率组件，PCB板面积很小，不适合手工焊接，建议用贴片机贴片和9温区回流炉焊接。PCB板的 Gerber 文件可在 [www.crpowtech.com](http://www.crpowtech.com) 网站上直接下载或向应用系统部索取。

## 注意事项

- 电解电容器

因为铝电解电容的寿命与温度有很大关系，温度升高电解质的损耗加快，温度每升高6 °C，电容器寿命就会减少一半。虽然LED的寿命长达5万小时，但电解电容的寿命只有4000小时，灯头内温度比较高时，电解电容器的寿命更低，因而，这个驱动电路的寿命取决于电解电容器。

- 高频变压器

高频变压器的设计和制作工艺决定本电路的性能，变压器的结构和绕制工艺如图8所示。磁心采用PC40EI-12.5-Z型高频铁氧体， $AL=1200\text{Nh}/\text{N}^2$ 。先绕保护绕组1、NC，双线并绕一层，这个绕组的尾接初级绕组的头，另一头悬空，主要用于降低开关应力和衰减EMI。初级绕组1、2分成两段采用三明治结构，一段绕在保护绕组之上，另一段绕在次级绕组之上，而次级绕组夹在两段初级中间。辅助绕组绕在最外层。每个绕组之间垫3层涤纶胶带。次级和辅助绕组如果用3重绝缘线，可以不用层间绝缘，还能进一步减小漏感，但成本稍高。

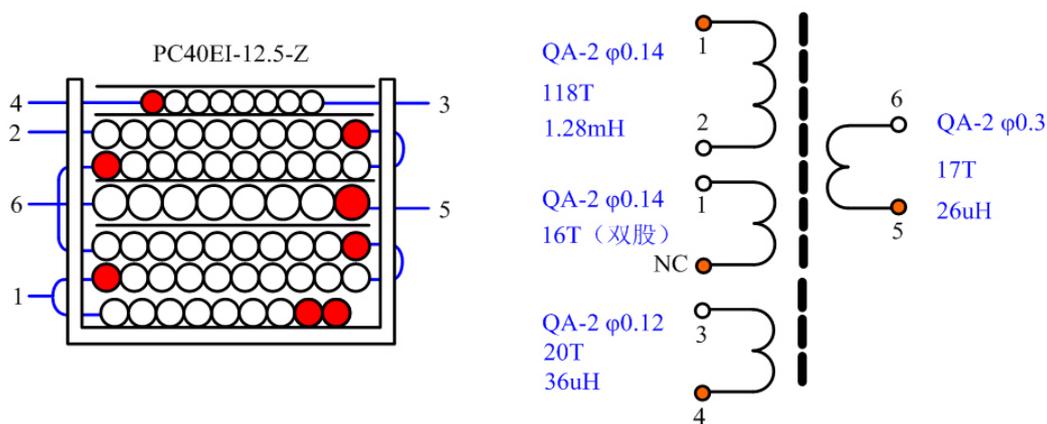


图8：高频变压器的结构