

全电压 20W 日光灯开关恒流源

基本特性

- 交流非隔离式高频开关降压恒流模式
- 交流85~245V, 50~60Hz工作范围
- 串联充电、并联放电无源功率因数校正
- 可内置于28毫米灯管里安装
- 工作环境温度0~75 °C
- 满足IEC61000-3-2: 2001要求

电原理图和实物照片

电路见图 1，交流市电入口接有 1A 保险丝 FS1 和抗浪涌负温度系数热敏电阻 NTC。之后是 EMI 滤波器，由 L1、L2 和 CX1 组成。BD1 是整流全桥，内部是 4 个高压硅二极管。C1、C2、R1、D1~D3 组成无源功率因数校正，工作原理见本公司《用 PT4107 设计 LED 日光灯的优化方法》一文。PWM 控制芯片 U1 和功率 MOS 管 Q1、镇流电感 L3、续流二极管 D5 组成 Buck 降压变换，U1 采集传感电阻 R6~R9 上的峰值电流，由内部逻辑控制 GATE 脚信号的脉冲占空比进行恒流控制。芯片由 T1、D4、C4、R2~R4 组成的电子滤波器降压后供电，这个滤波器内阻很高，输出阻抗很小，能提供约 16V 稳定电压，确保芯片在全电压范围里稳定工作。R5 是芯片振荡电路的一部分，改变它会调节振荡频率。电位器 RT 在本电路中不是用来调光，而是用来微调恒流源的电流，使电路达到设计功率。

本电路的参数是为22个LED串联，15串并联，驱动330个60毫瓦的白光LED设计的，每串的电流是17.8毫安。

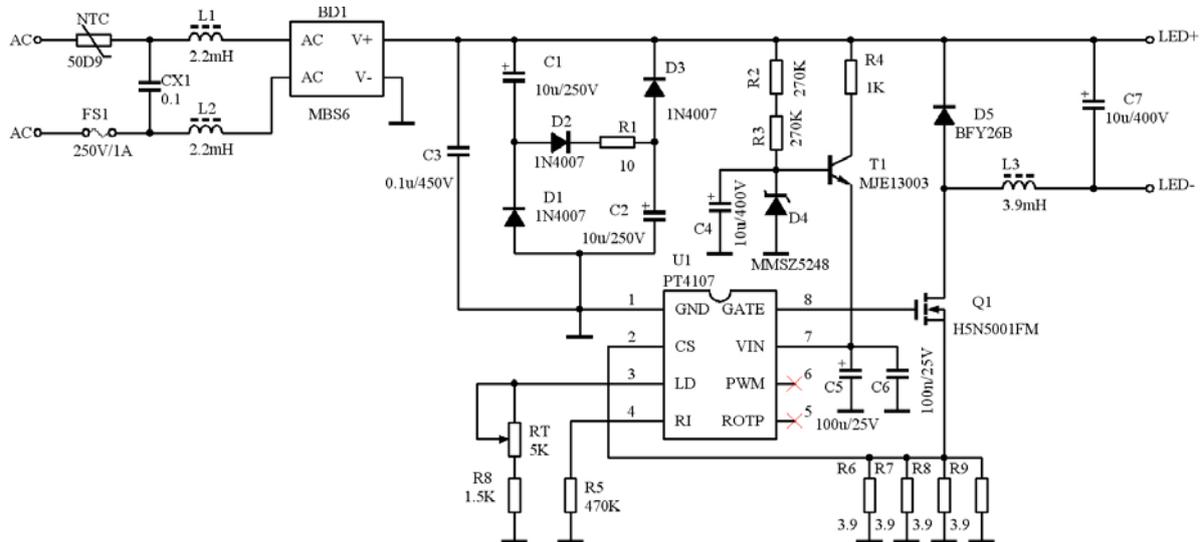


图1: 20W LED日光灯恒流源电原理图

图2是恒流源的实际照片，33个元件安装在235×25×0.8 毫米的环氧单面印制板上，PCB走线是按电力电子规范要求设计的，可以直接安装在28毫米的灯管之中。

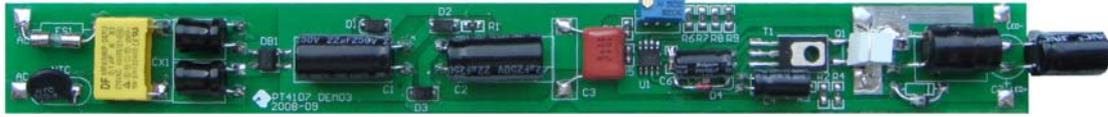


图2: 20W LED日光灯恒流源实物照片

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CCM模式下测试得到的。它是针对85~245V交流电源设计的, 实际上能在更宽的电压范围里工作, 如60~270V, 但输出电流会发生变化。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, 不会影响恒流精度。改变振荡频率和元件参数会使电路改变工作状态, 例如降低频率或减小L3的电感量会使电路进入DCM模式, 这时电路的电气参数就会改变。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, 尽量选用推荐产商的元器件。

表 1: 电气参数表

输入电压 (V)	85~245
电源频率 (Hz)	50~60
输出电压 (V)	36~100
输出电流 (mA)	200~256
开关频率 (KHz)	50
恒流源效率 (%)	90
功率因数	0.9
3 次谐波失真 (%)	17
5 次谐波失真 (%)	15

表 2: 20W LED 日光灯恒流源 BOM

序号	元件号	名称	型号	厂商
1	NTC	热敏电阻	50D-9	GE Infrastructure
2	FS1	保险丝	250V/1A	Cooper
3	L1、L2	功率电感	2.2mH/300mA	Coilcraft
4	CX1	X 电容	0.1u/275V	EPCOS Inc
5	BD1	整流桥	MB6S	Diodes Inc
6	C1、C2	铝电解电容	22u/250V	Nichion
7	C7	铝电解电容	10u/400V	Nichion
8	D5	超快速恢复二极管	BYV26B	Vishay
9	L3	功率电感	3.9mH/500mA	Coilcraft
10	R1	金属膜电阻	10/1W	Yageo
11	R2、R3	SMD电阻	270K(1206)	Yageo
12	R4	SMD电阻	1K(1206)	Yageo

13	D4	齐纳二极管	MM1SZ5248	ON Semiconductor
14	C4	铝电解电容	100u/25V	Nichion
15	C5	陶瓷电容器	100nF/25V	KYOCERA MITA
16	T1	晶体管	MJE13003	MOSPEC Semicon
17	C3	金属聚丙烯酯电容	0.1uF/450V	EPCOS Inc
18	C4	铝电解电容	10uF/25V	Nichion
19	D1~D3	硅二极管	1N4007	Fairchild
20	RT	精密电位器	5K (3296)	Bochen
21	R8	电阻	1.5K (0805)	Yageo
22	Q1	功率MOS管	H5N5001FM	Renesas
23	R6~R9	SMD电阻	3.9K (1206)	Yageo
24	R5	SMD电阻	470K (0805)	Yageo
25	U1	集成电路	PT4107	PowTech

测试波形

图 3 是电子滤波器 T1 发射极的波形，输出电压是直流 16V，输入电压在在 70V~245V 范围里，这个电压是稳定不变的。

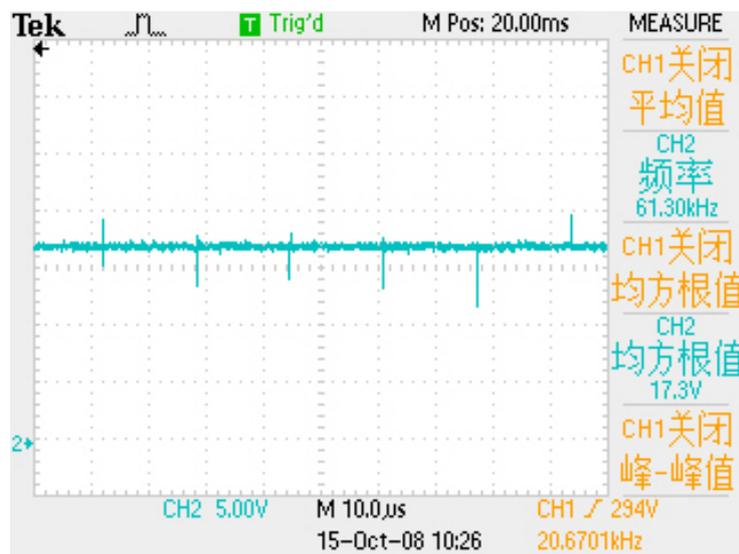


图 3: 基极电压

图 4 是 MOS 管栅极的波形，这是典型的门驱动脉冲波形，频率基本是固定的，脉冲的占空比随着负载电流和输入电压变化。当负载固定时，输入电压降低占空比增大，最低工作电压下的占空比是 0.48。脉冲幅度是固定 14.8V，不应该随输入电压升高而增加。测量中可看到脉冲在水平方向抖动，这并不是故障，而是为了降低 EMI 在芯片里增加了扩频功能。

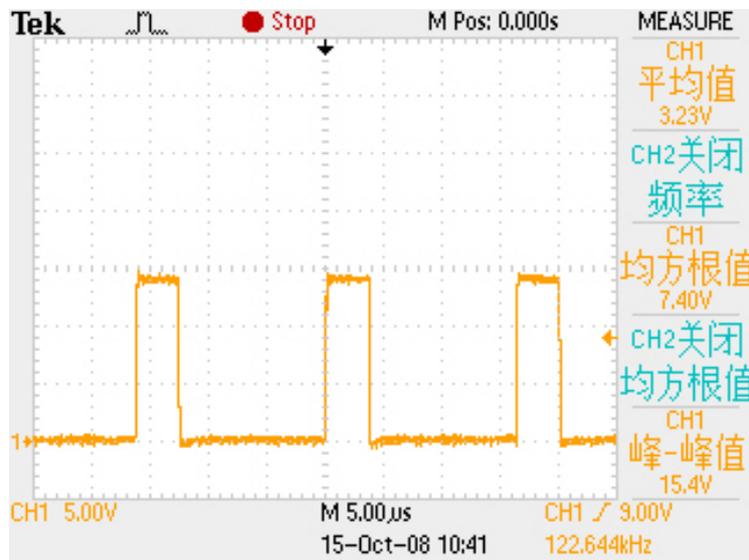


图 4: 栅极信号波形

图 5 是 MOS 管的漏极电压波形，波形频率与栅极相同，但极性相反。当恒流源空载时，漏极电压是交流输入电压的 1.4 倍，有载时是交流输入电压的 1.2~1.3 倍。由于采用超高速恢复二极管续流，电感产生的反向电动势被阻尼，因而波形很干净。

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。

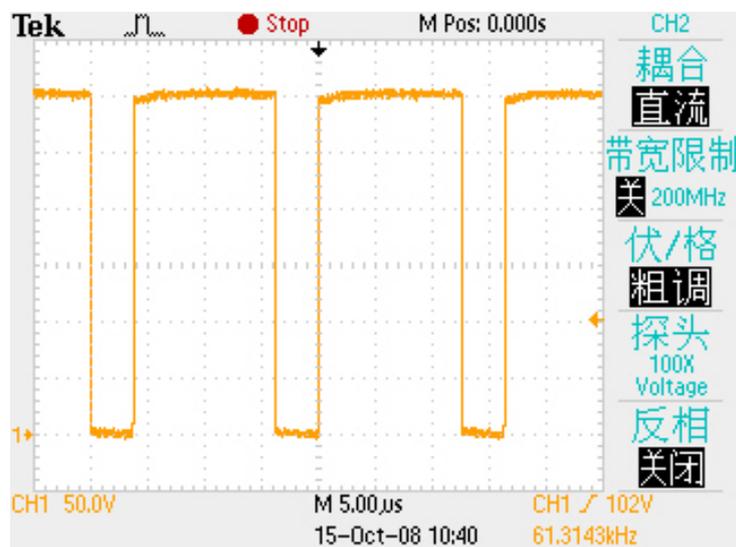


图 5: 漏极信号波形

图 6 是 MOS 管源极电压，这个电压是 MOS 管的工作电流在传感电阻上的压降，它的幅度与 MOS 管的工作电流成正比。这个电压在单周期里送到芯片中作为控制信号，控制

MOS 管栅极脉冲的占空比，使流过 LED 的电流恒定。

源极电压与栅极电压的最大不同是脉冲前后沿有尖峰，尖峰是由输出镇流电感和 MOS 管的寄生电感产生的，这些尖峰是产生开关损耗的根源。

波形的顶部的斜坡是由导通损耗产生的。导通损耗和开关损耗是 MOS 管发热的主要原因。

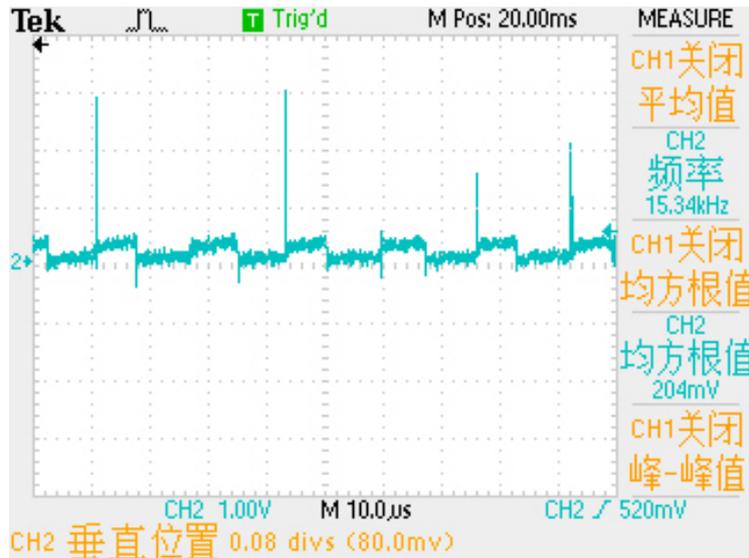


图 6：源极采样信号波形

图7 左上部两个波形分别是LED⁺ 和LED⁻ 端的电压波形（带240欧姆负载），左下是（LED⁺）-（LED⁻）的波形，即输出电压。右图是用电流感应环测量的输出电流纹波。由于电流环的高频响应很好，显示出了几十毫伏的尖峰电流，它们是回路的寄生电感产生的反向电动势引起的，滤波电容对它是无可奈何的。

注意，用示波器测量电流要用专门的电流探头或电流感应环。

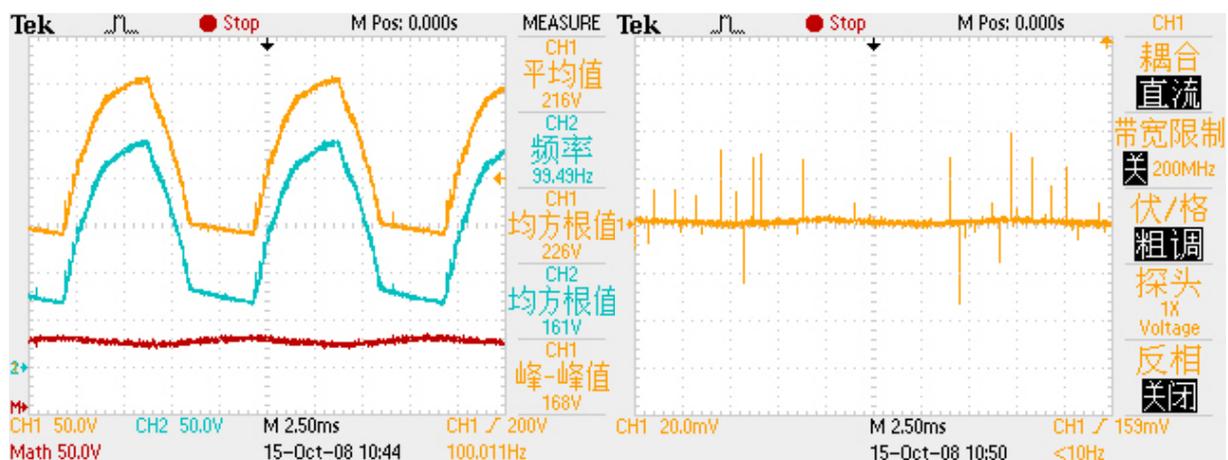


图 7：输出电流波形

图8是在27 °C 室温环境里, 不同输入电压对应的输出电流, 即输入电压调整率特性。

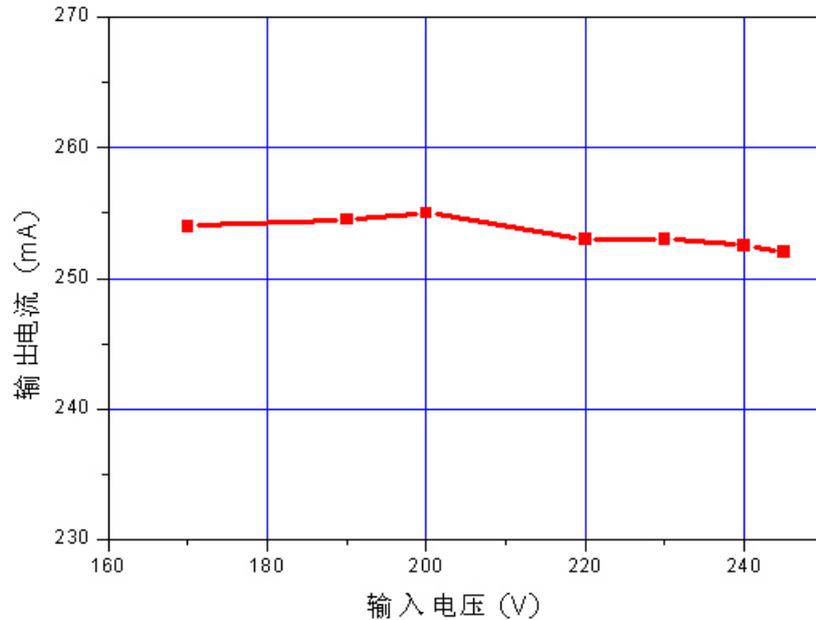


图 8: 输入电压调整率

图 9 是环境温度变化对输出电流的影响, 这个曲线是用测试数据在Origin软件上拟合的。测试数据来自 10 个图 2 所示的电路板在老化箱中, 带载工作在-15 °C~+75 °C, 步长 5 °C测试的。

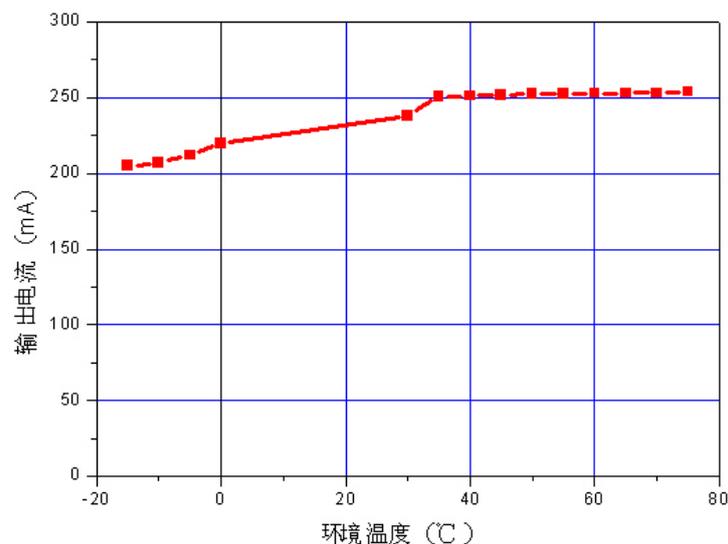


图 9: 温度-输出电流特性

使用说明

注意: 本恒流源是非隔离式结构, 电路板和 LED 引脚上均带电, 要严格遵守带电安全操作规则, 避免发生人体触电事故!

首先检查LED板上发光管的串并结构，每串LED必须在12~28个范围内，10~15串并联，总电流控制在260mA以内，总功率不要超过20W。

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±15%的波动，接好LED后再接通电源。不建议先上电再接LED，这样会损伤LED缩短使用寿命。当LED点亮后，如果电流偏离设计值，在输出回路串联一个量程大于2A的电流表，调节电路板上的电位器，可以微调输出电流。电流调好后在电位器螺杆上滴上硅胶固定，防止振动对电位器的影响。如果调电位器仍不能得到需要的电流值，也可以改变电阻R6~R9。由于散热设置是按最大输出功率20W设计的，因而不要随意增大输出功率。

该电路板可以直接用于生产，PCB板的Gerber文件可在PowTech网站上直接下载或向应用系统部索取，省去设计的时间和费用。

注意事项

● 电子稳压器

给U1供电的电路名叫倍容式纹波滤波器，是有效的电源净化器，它具有电容倍增式低通滤波器和串联稳压调整器双重作用，也叫ACR (Amplificatory Capacitance Regulator)电路。在射极输出器的基极到地接一个电容C4，由于基极电流只有射极电流的 $1/(1+\beta)$ ，相当于在发射极接了一个 $(1+\beta)C4$ 的大电容，这就是电容倍增式滤波器的原理。如果在基极到地再连接一个齐纳二极管，就是一个简单的串联稳压器，因此，该电路具有稳压和滤波双重作用，能有效地消除高频开关纹波。注意选择双极型晶体管的 $V_{bce0}>500V$, $I_c=100mA$ 。稳压二极管D4用16~18V, 1/4W任何型号的小功率稳压管。

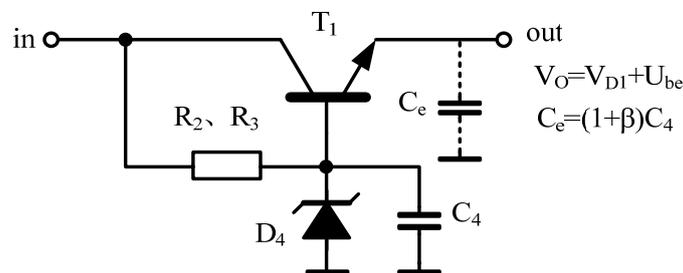


图10: 倍容式纹波

● 功率因数校正电路

普通的桥式整流后直接平滑滤波的AC-DC电路，输入电压是正弦波，由于电容充电快放电慢，电流是不连续的脉冲波，谐波失真大，功率因数低。本电路用的是一种低成本的无源功率因数补偿电路，如图11所示。这个电路叫平衡半桥补偿电路，C1和D1组成半桥的一臂，C2和D3组成半桥的另一臂，D2和R1组成充电连接通路，利用填谷原理进行补偿。滤波电容C1和C2相串联，电容上的电压最高充到输入电压的一半($V_{AC}/2$)，一旦线电压降到 $V_{AC}/2$ 以下，二极管D1和D3就会被正向偏置，这样使C1和C2开始并联放电。采用这个电路后，系统的功率因数从0.6提高到0.88~0.9，但很难超过0.92，因为输入电压和电流之间还存在大约60度的死区。

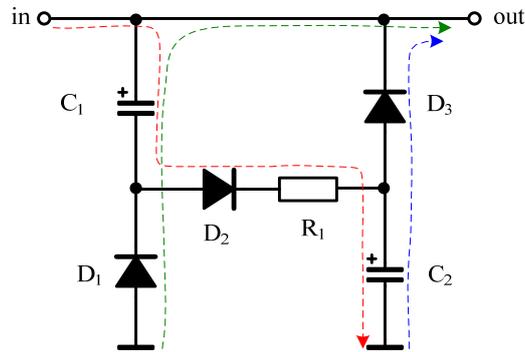


图 11: 平衡半桥 PFC 电路

- 采样电阻

电阻R6、R7、R8、R9 并联作为采用电阻，可以减小电阻精度和温度对输出电流的影响，并且可以方便地改变其中一个或几个的阻值，达到修改电流的目的。建议选用千分之一精度，温度系数为 50ppm 的SMD电阻。如果对电流精度和温度变化有更高的要求，建议使用康铜或锰铜四端专用电流采样电阻。

- 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，灯管内温度比较高时，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。

- 功率电感

功率电感L3是比MOS管更关键的元件，要求Q值高、饱和电流大、电阻小。标称3.9毫亨的电感，在40KHz~100KHz频率范围里Q应大于90, 饱和电流大于工作电流的2倍，这里选500毫安，绕线电阻要小于2 欧姆，居里温度大于400 °C的优质功率电感。使用劣值电感的后果是灾难性的，一旦电感发生饱和，MOS管、LED、控制芯片就会瞬间烧毁。建议使用微晶材料的功率电感，它可以确保恒流源长期安全可靠地工作。