

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
- 可恢复输出短路保护
- 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，由内部逻辑在单周期内控制 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，这个滤波器输入阻抗很高，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。PPTC 用于输出短路保护，故障排除后电路自动恢复工作。

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，每串电流是17.8毫安。改变LED数量需要修正R6~R9的参数。

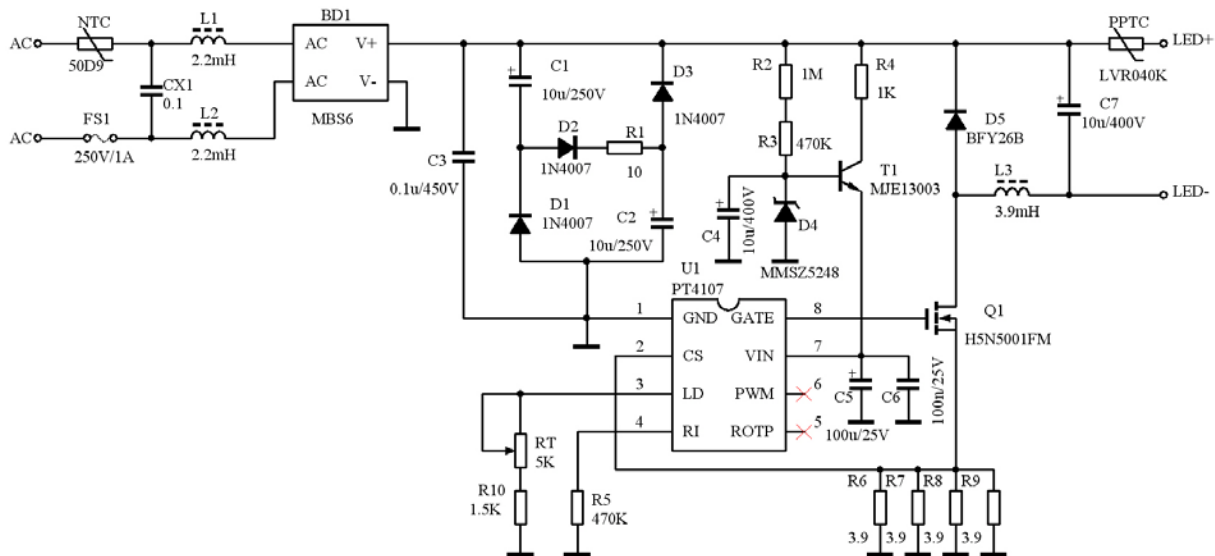


图1: 20W LED日光灯恒流源电原理图

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 (%)	89
功率因数	0.89
3 次谐波失真 (%)	16
5 次谐波失真 (%)	14

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	50 D-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/600mA	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	R10	电阻	1.5K(0805)	Yageo
22	Q1	功率MOS管	H5N5001FM	Renesas
23	R6~R9	SMD电阻	3.9Ω(1206)	Yageo
24	R5	SMD电阻	470K(0805)	Yageo
25	PPTC	PolySwitch自复元件	LVR040K	Toly Electronics
26	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 16~17.3V，输入电压在 70V~265V 范围里变化，这个电压是稳定不变的。

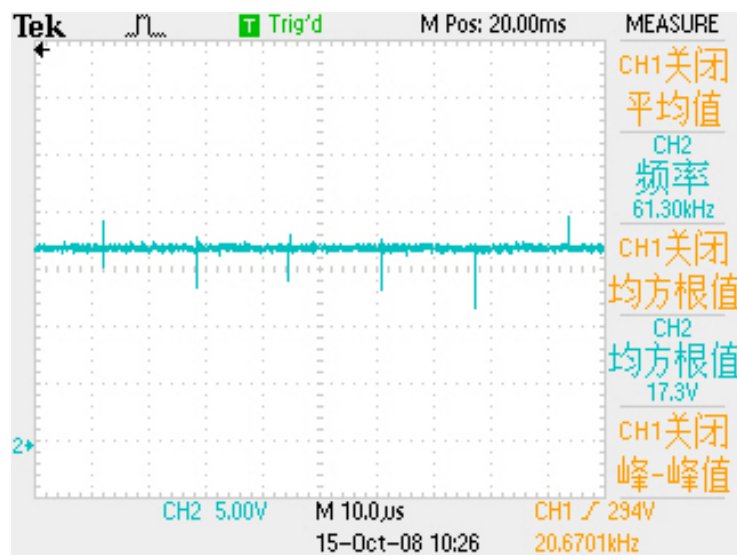


图 3: 基极电压

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。

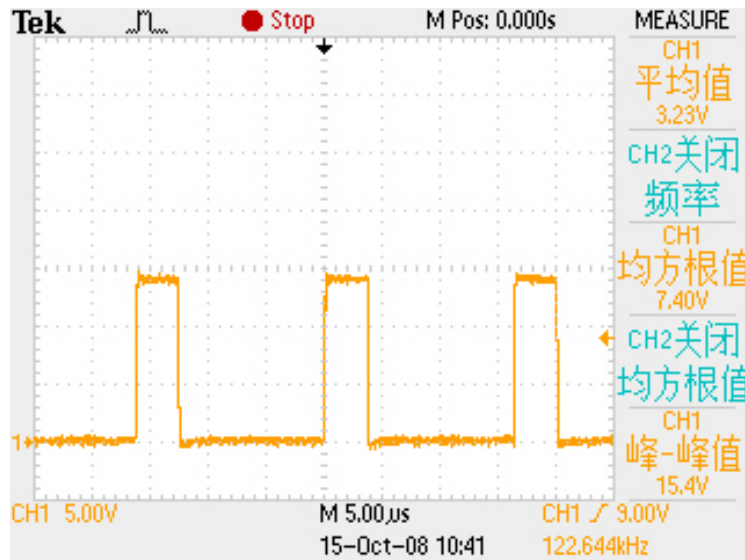


图 4：栅极信号波形

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。

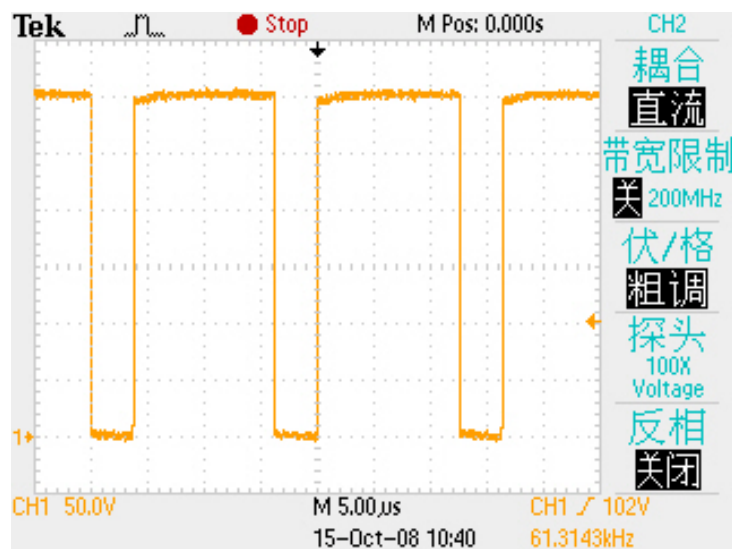


图 5：漏极信号波形

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快速控制信号，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。

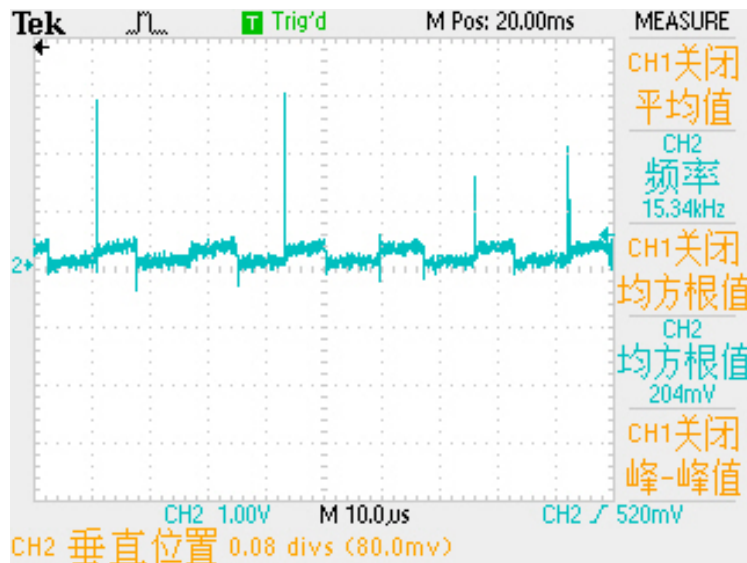


图 6：源极采样信号波形

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，它们是回路寄生电感产生的反向电动势，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。

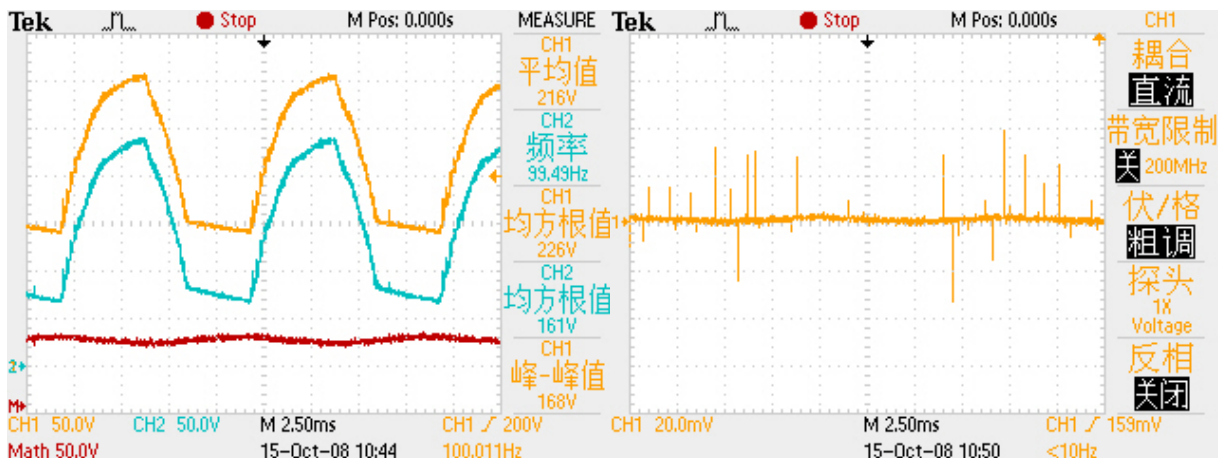


图 7: 输出电流波形

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。

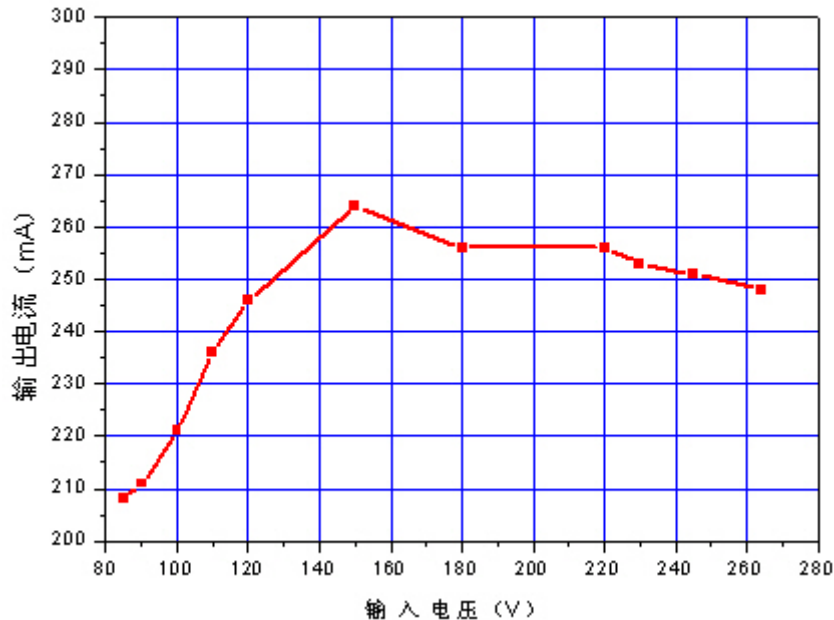


图 8: 输入电压调整率

图 9 是环境温度变化对输出电流的影响, 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满载工作, 在温度-15 °C~+75 °C范围, 步长 5 °C采样记录。

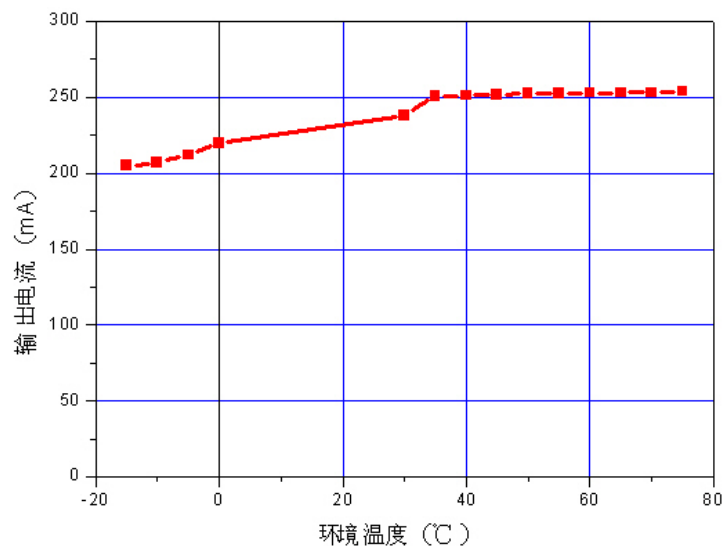


图 9: 温度-输出电流特性

图10是输出发生短路时的电压和电流波形。由于芯片内只有限流保护, 输出短路时故障电流迅速上升到1.2A, 串联在输出回路的PPTC自恢复元件的电阻从零点几欧姆上升到数

兆欧姆，输出电流迅速下降到接近于零。保护元件的启动时间小于60秒，故障排除后，电路自动恢复到正常状态。

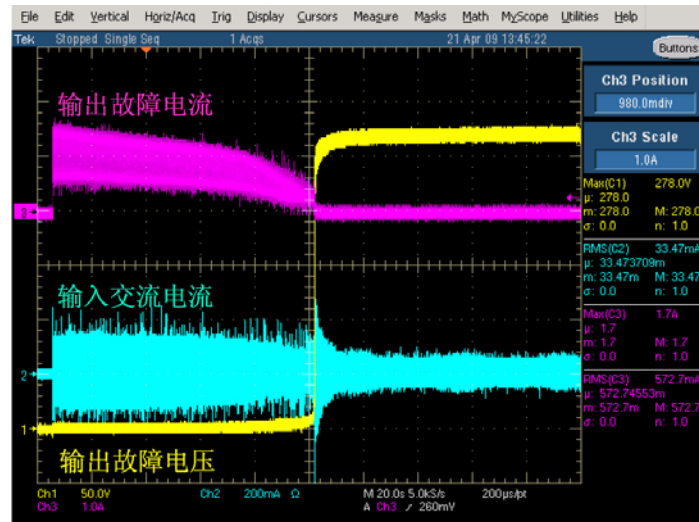


图 10: 输出短路保护特性

性能参数测试

表3是使用图2所示的电路板在常温下不同输入电压的性能参数，负载为274Ω的电阻负载。

表3: 不同输入电压下的性能参数

V _{in} (AC~V)	P _o (W)	I _o (mA)	V _o (V)	PFC (cos φ)	η (%)
85	13.90	208	57.0	0.920	86.9
90	14.00	211	57.8	0.920	87.3
100	15.20	221	60.5	0.910	88.0
110	17.18	236	64.6	0.910	88.3
120	18.80	246	68.0	0.901	88.9
150	22.00	264	73.7	0.896	89.7
180	20.00	256	70.5	0.905	89.3
220	20.19	256	70.1	0.893	88.8
230	19.94	253	69.7	0.896	88.6
245	19.68	251	68.8	0.896	88.1
264	19.34	248	68.1	0.896	87.0

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，如果上流水线建议设置5个工位。PCB板的 Gerber 文件可在 PowThch 网站上直接下载或向应用系统部索取。

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，如图 11。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。

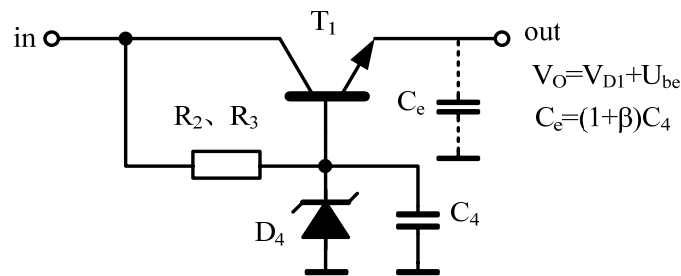


图11：倍容式纹波

● 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12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。

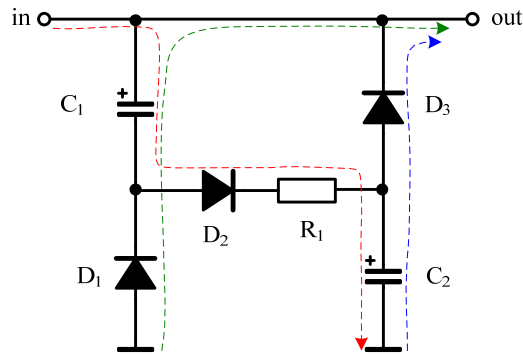


图 12: 平衡半桥 PFC 电路

- 采样电阻

电阻R6、R7、R8、R9 并联作为采样电阻，这样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。建议使用微晶材料制造的功率电感，它可以确保恒流源长期安全可靠地工作。