

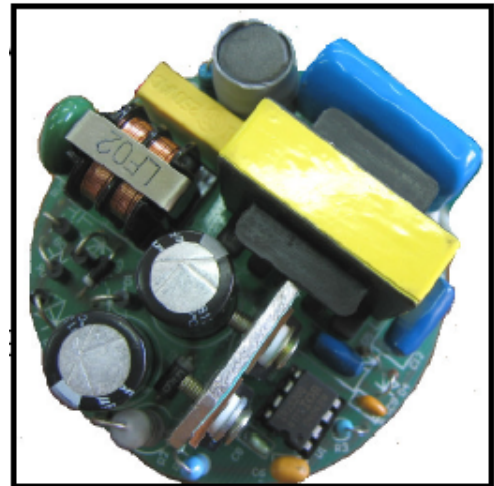
**采用 IR2520D 控制集成电路，具有功率因数校正的
55W 紧凑型节能灯镇流器**

IR2520D For 55W CFL Ballast With Passive PFC

Hanjie Yin

一、概述(Abstract)

该演示板针对的是 220V 交流输入的 55W 紧凑型荧光灯 (CFL)。该电路具有灯的所有必须功能，如预热、触发、运行和保护功能，电路以 IR 公司 CFL 镇流器控制集成电路 IR2520D 为基础，并结合无源功率因数校正技术，改善镇流器输入功率因数，降低其电流谐波含量。功能如下：预热时间可调，可调运行频率以设置灯功率，可以避免灯闪烁的高起始频率的软启动，灯丝开路 and 触发失败时故障保护，低线电压输入保护及电压升高后自动重新启动。IR2520D 是一个低成本方案，特别适合于 CFL 应用。IR2520D 仅有 8 个管脚。



二、特点(Features)

- 运行频率可调
- 预热时间可调
- 灯丝开路和灯保护
- 触发失败和无效灯保护
- 输入交流线电压过低保护

三、技术参数(Specification)

- 输入功率：55W (220V 交流输入)
- 输入电流：255mA (220V 交流输入)
- 起始频率：112KHz
- 运行频率：44.6KHz
- 启动电压：170VAC
- 关断电压：110VAC
- 灯的类型：4U (55W)

四、电路功能描述(Description of circuit functions)

镇流器的组成为四个部分：输入 EMI 滤波器、整流器、无源 PFC 校正电路和镇流器控制电路。C1、L1、L2 和 C3 组成的滤波器是必须的且要满足对 EMI 的需求。D1、D2、D3、C5、C7 和 R2 组成无源功率因数校正电路可以使输入功率因数提升到 0.93 以上。电路如下图 1。

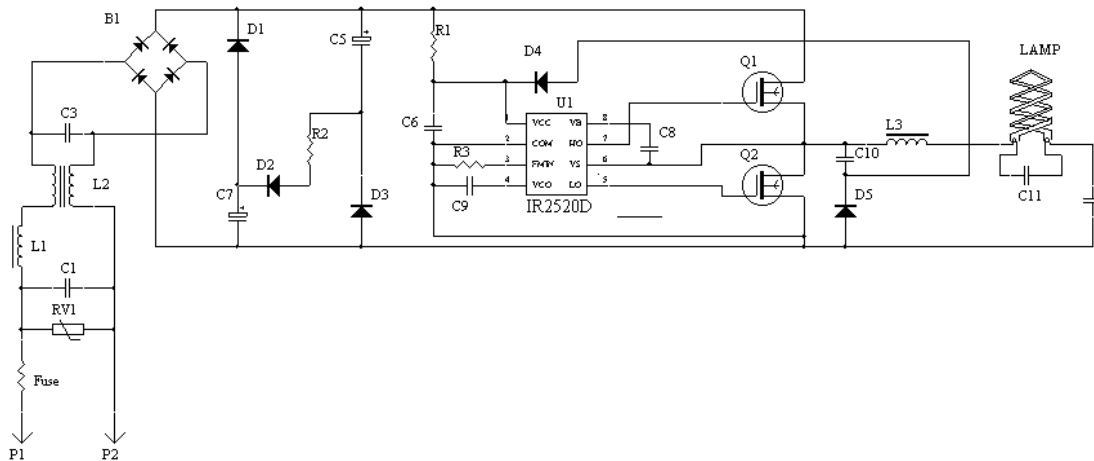


图 1 电路图(Schematic)

无源 PFC 电路(Passive PFC circuit)

该无源功率因数校正电路的工作过程是这样的。在输入整流的每个半周期期间滤波电容 C5 和 C7 以串联的形式经由 D2 和 R2 进行充电。C5 和 C7 分别被充电至交流电压峰值的一半。加入电阻 R2 的目的是为了减少电容充电时的尖峰电流。由于每个电容被充电至交流峰值电压的一半，所以仅在母线电压跌落到正弦波形的峰值电压一半之下时，电容才有输出电流，此时电容实际上以并联方式给负载供电直到下个半周期交流输入整流电压再次超过峰值电压的一半为止。电容放电占空比大约是 37%，除此以外负载直接由交流整流输入供电。在交流输入电压的峰值同时还给电容充电至峰值电压，充电电流的幅度和持续时间是电容放电深度和充电电路中串联电阻值的函数。

镇流器控制电路(Control IC)

IR2520D 具有自适应零电压最小电流开关 (ZVMCS，适应性运行频率转换为零电压开关)，内置波峰比和非零电压开关 (ZVS) 保护，同时也集成了自举二极管。这个 IC 的核心是一个具有外部编程最小频率功能的压控振荡器 (VCO) 和 0~5V 模拟电压输入。IR2520D 的一个最大优点是利用 VS 脚 (半桥中点电压) 作过流保护和检测非 ZVS 状态 (IR2520D 利用低端 FET 导通时的 R_{dson} 作为电流传感电阻检测高压母线电压。一个内置的 600V FET 把 VS 脚和 VS 感应电路相连接，在 LO 脚为高电平期间可以使 VS 脚被精确地测量，在一个开关周期的其它部分，当高端 FET 开通，VS 脚处在直流母线电位时能够承受直流母线的高压)。这样能够节省经常用来检测过电流的高精度电阻。关于 IR2520D 更进一步的信息请参考 IR2520D 的数据表和浏览此 IC 的说明图表。作为 IR2520D 特点的结果，电路利用 IR2520D 成为一个完全 CFL 方案比自振荡方案具有极好的可靠性和较长的灯寿命，也具有灯失效和低输入线电压保护，同时也降低了元器件数量，减小了镇流器尺寸。

图 2 给出了在启动、预热、触发和运行模式期间灯上的电压和谐振电感 L 的电流波形。

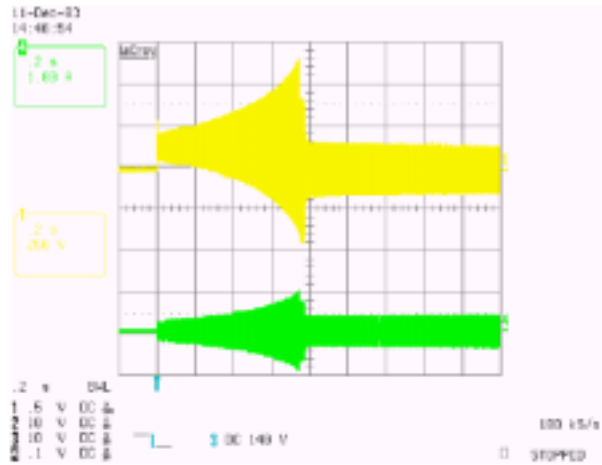


图 2 在启动、预热、触发和运行模式期间灯上的电压（黄色波形）和谐振电感 LRES 的电流（绿色波形）波形。

当电源开启时，IR2520D 进入欠压锁定（UVLO）模式。UVLO 模式被设计为维持一个很低的电源电流（ $<200\mu\text{A}$ ），在高端和低端输出驱动器被击活之前以保证 IC 的全部基本功能。在 UVLO 期间高低端驱动器的输出（LO 和 HO）均为低，VCO 脚被拉低到地（COM），复位起始频率到最大。

一旦 VCC 达到启动门限，IR2520D 开启，半桥 FET 开始振荡，IC 进入频率回扫模式。在启动时 VCO 是 0V，频率非常的高，大约为 2.5 倍的最小频率（ f_{min} ）。这样一来在启动时使电压毛刺和灯闪烁最小化。频率向高 Q 输出级谐振频率靠近，引起灯电压和灯电流增加，在此期间灯丝被预热到发射温度，保证灯的长寿命。频率继续降低直到灯被触发，如果灯触发成功，IR2520D 进入运行模式。

如果最小频率选择的低于或非常接近谐振频率，IC 将在谐振点附近工作，频率会高于 f_{min} ，将不断的调整频率以维持半桥的零电压开关，使 FET 的损耗最小。如果最小频率选择得高于谐振频率，IR2520D 将工作在最小频率。图 3 示出了在启动时谐振电感的电流和灯丝电压波形。

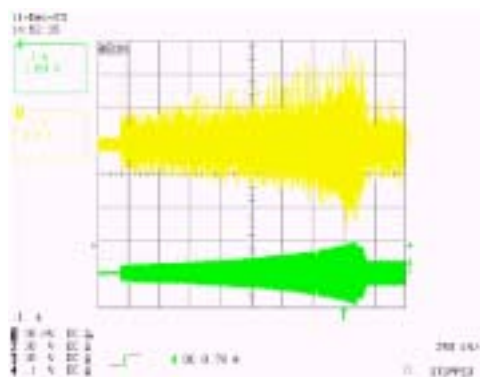


图 3 启动时谐振电感的电流（黄色）和灯丝电压（绿色）波形

图 4 示出了在运行模式下 VS（HB）电压、灯电压和灯电流波形。

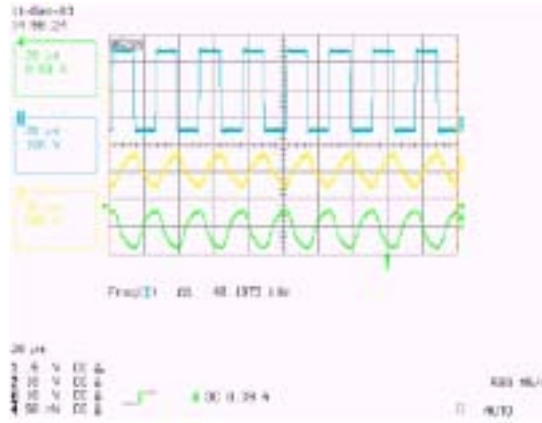


图 4 在运行模式下 VS (HB) 电压 (蓝色) 灯电压 (黄色) 和灯电流 (绿色) 波形

故障条件(Fault conditions)

在以下故障情况：灯丝开路、触发失败、无效灯或无灯时，IR2520D 将进入故障模式。在此模式下振荡器被锁定，复位 IC 返回到预热模式，VCC 一定在低于和高于 UVLO 门限间反复循环，复位干线电压。在低交流线电压输入情况时 IR2520D 将自动增加频率以避免非 ZVS，在此种方式下，低的交流输入线电压时镇流器工作在低功率，当线电压升高后重新工作在合适的功率。

触发失败/无效灯保护(Protection of ignition failure and no lamp)

此保护依赖于 IR2520D 波峰因子保护以及非 ZVS 电路，当 VCO 脚的电压达到 4.6V 时这两种功能有效。

为了检测失败触发条件，IR2520D 运行内部的波峰因子测量电路来检测过高的危险电流或电感饱和，此种情况发生在灯没有被点亮的失败条件下或无效灯条件下，如果没有保护，将引起半桥损坏。在低端 MOSFET 开通的整个期间 IR2520D 测量 VS 脚。当 LO 开通期间，峰值电流超过平均电流的 3 倍时，IC 进入故障模式，两个门极驱动器将被锁定到“低”。波峰比测量电路的运行提供了一个相关的电流测量能够消除温度或低端半桥 MOSFET 的不同 R_{dson} 引起的误差，对于不同类型的灯无须进行不同的调节。在正常工作时，电流将会增加直到灯被点亮。灯点亮后电流减小到标称电流。灯触发失败的现象出现在灯丝完好无损，但是灯没有被点亮的情况下。在触发过程中，灯电压和输出级电流将不断增加直到发生过流或谐振电感饱和。非 ZVS 电路或波峰比电路将检测这种情形，IC 进入故障模式，两个门极驱动器输出被锁定为“低”。这样一来就会避免损坏半桥。

通常非 ZVS 保护将首先介入（因为当 VCO 达到 4.6V 时 IR2520D 通常已经工作在谐振点之下，IR2520D 不能检测到峰值电流是由于当 LO 脚为高时它仅仅只能是读取），只要运行频率再次达到谐振频率，频率将会增加，波峰比保护就会检测故障条件。输出级将出现瞬间大电流和高电压。半桥 FET 需要能够承受瞬间的大电流。通过相对于谐振频率和运行频率控制触发频率以及减小 CVCO 电容值就可以减小此瞬时时间。为了避免这种延迟，运行频率应当在高 Q 值 LC 级的谐振频率之上，以便当波峰比保护作用时系统工作在谐振频率之上（运行频率低于谐振频率的情况下，由于相移的缘故波峰比保护电路检测不到峰值电流）。在正常触发期间当 CVCO 超过 4.6V，为了避免常规暂态干扰和电感饱和两个保护都起作用。图 5 示出了触发失败情况下电感电流和灯电压，

同时还有 VCO 脚电压。在启动时 VCO 脚电压上升到 4.6V 和频率低于谐振点时，非 ZVS 电路作用频率开始增加直到它再次超过谐振频率，将会引起电感饱和。在第一个高波峰比发生时 VS 是低电压，我们将闭锁 IC。就象所了解的一样，当 VCO 充电到 4.6V 时灯电压就会很高，谐振电感的电流也很大，会引起电感饱和（在正常触发期间波峰比保护仍旧不起作用，允许一些饱和）。图 6 给出了在短时间内，关闭期间 LO 脚、VS 脚和电感电流的详细波形。可以看出 LO 脚最后一个正脉冲比其它的脉冲窄，这是因为与为了提高抗噪音和暂态能力当 VS 达到 0V 后，在消隐期间引入一些波峰比保护时间延迟相关。

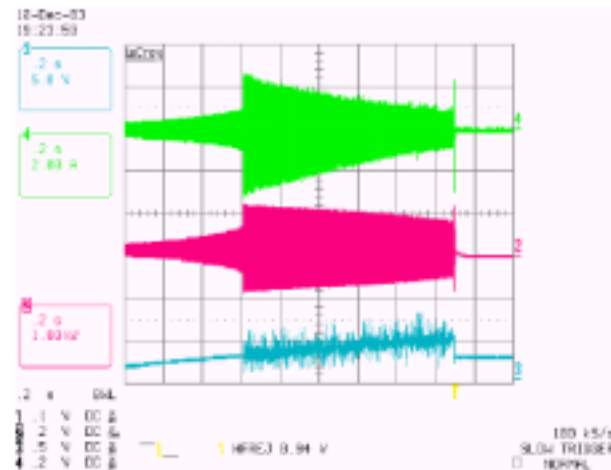


图 5：4 是谐振电感电流，2 是灯电压，3 是 VCO 脚电压

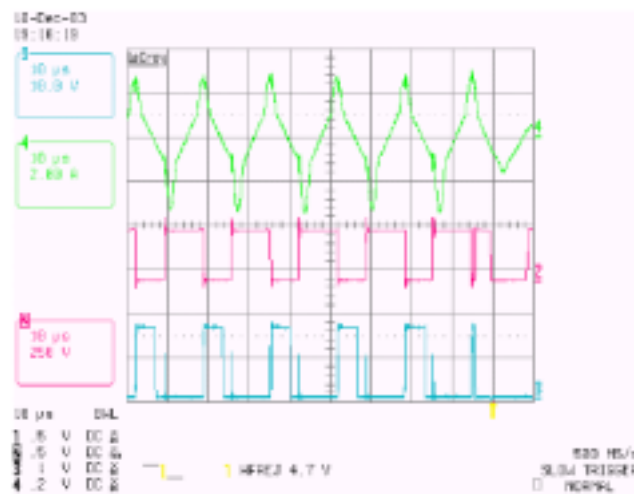


图 6：4 是谐振电感电流，2 是 VS 脚（HB 电压），3 是 LO 脚

灯丝开路保护(Open filament protection)

灯丝开路保护是以 IR2520D 的非 ZVS 电路为基础，当 VCO 脚电压达到 4.6V 时起作用。产生灯丝开路故障和半桥硬开关时 IR2520D 内部的非 ZVS 电路将会检测这种状况，逐步增加频率当 VCO 达到 1V 时关闭 IC；两个门极驱动器将被锁定为“低”。这样一来就会避免硬开关和半桥损坏。

图 7 给出了灯丝开路情况下灯电压和电感电流波形以及 VCO 脚电压波形。可以看出，启动时 VCO 脚从 0V 充电到 4.6V，在 4.6V 非 ZVS 电路起作用，频率开始增加，CVCO 放电。当 VCO 脚电压达到 1V 时 IC 被闭锁。图 8

示出了在短时间内关断时 VCO 脚和 VS 脚 (HB 电压) 波形。当 IR2520D 关断时 FMIN 脚被接地, 因此 FMIN 脚能够被用做触发器。

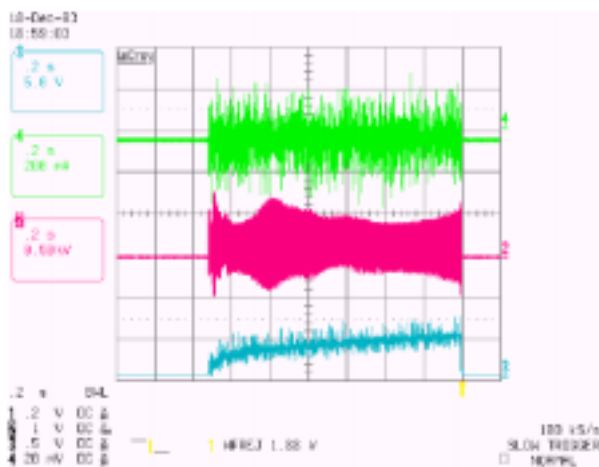


图 7 2 是灯电压, 3 是 VC 脚电压, 4 是谐振电感 LRES 电流

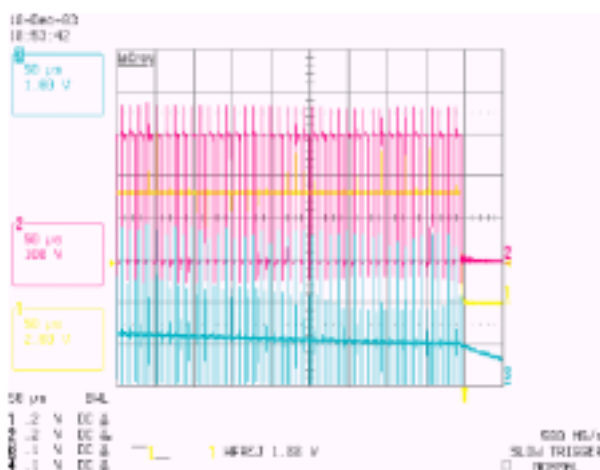


图 8 1 是 FMIN 脚电压, 3 是 VCO 脚电压, 2 是 VS (HB 电压)

低输入线电压保护(Lower input line AC voltage)

由图 9 可以看出, 当线电压从 220V 到 130V 变化时, IR2520D 的 ZVMCS 电路自动增加频率以维持零电压开关。

当线电压减小时, 谐振频率增加, 变得接近运行频率。这将引起非 ZVS。IR2520D 将会检测非 ZVS, 只要检测到非 ZVS, 就会逐步增加频率。这样就会保护了半桥 MOSFET。

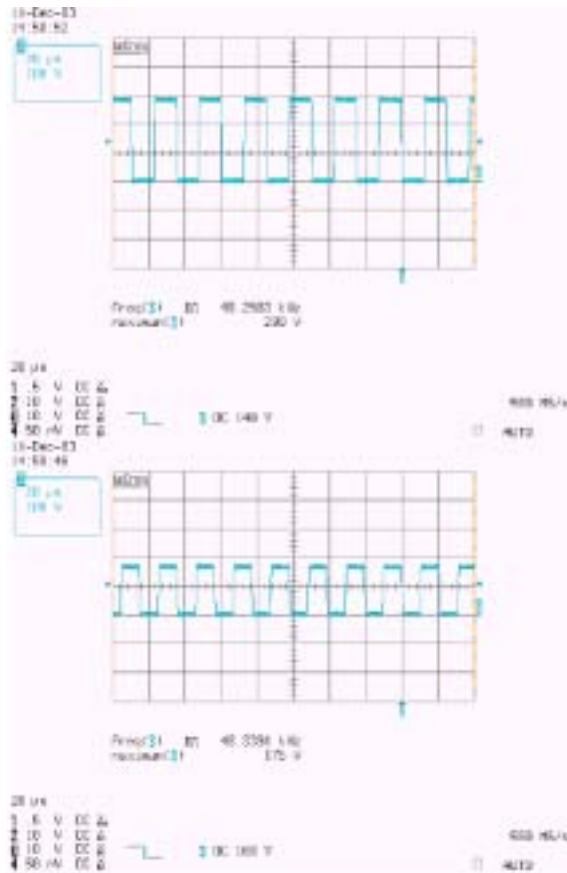


图9 交流线电压为 220V 时 VS 脚波形（顶图），
交流线电压为 130V 时 VS 脚波形（底图）

五、 CFL 镇流器设计要求和约束(Design requirements and limitation)

电子镇流器的工作遵循 3 种状态：预热、触发和运行模式。

预热(Preheat)

在预热阶段灯丝必须被加热到适当的发射温度以保证灯的长寿命（5,000-300,000 次或以上）为了使灯寿命最长必须遵从以下条件：

- 1) 高的起始频率可以避免灯丝在启动时的重负。IR2520D 能够自动获得高起始频率，因为它的起始频率大约是最小频率的 2.5 倍。
- 2) 预热比（ R_h/R_c =预热结束时灯丝电阻与冷态时灯丝电阻之比）介于 4-6.5（有时在灯的规格说明中指出了所需的预热比 R_h/R_c ）较大的 R_h/R_c 比值保证了较高的发射温度和较大的启动次数。
- 3) 预热时间等长于所需预热时间。预热时间不应低于 200ms 典型预热时间值为 1s。

R_h/R_c 比值可以通过设定预热结束时灯丝的电压和电流来控制。可以通过选择谐振电感 L 和谐振电容 C 的值来实现此目的。选择 CVCO 的值可以调整预热时间。

触发(Ignition)

在触发阶段，频率将逐渐下降直到谐振，灯上的电压将增加引起灯的触发。灯规格中规定了“最大触发电压”，此电压是在最坏情况下（冷灯）加在灯上的所需触发电压。镇流器的最大触发电压发生在仅由谐振电感 L 和谐振电容 C 组成的输出电路的谐振点处。通过设定谐振电感 L 和谐振电容 C 的值就能够控制此最大触发电压。

运行模式(Running)

在运行模式时，加在灯上的电压和电流必须保证灯正常的电压、电流和功率。除过发生非 ZVS 外，IR2520D 将工作在最小频率（ f_{min} ）。通过改变谐振电感 L、谐振电容 C 和最小频率可以调整输入功率。

小节，灯规格要满足如下要求：

- 1) 预热比 R_h/R_c
- 2) 预热时间
- 3) 加在灯上的触发电压
- 4) 灯运行功率
- 5) 灯运行电压和电流

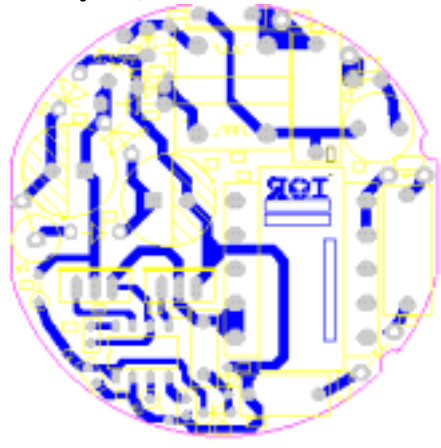
也要考虑一些约束条件：

- 1) 运行频率要大于 40KHz（以避免开红外线范围）
- 2) 起始电压要足够小（低于最小触发电压），以避免在预热时触发
- 3) 触发电流要低于 FETs 和谐振电感 L 的最大额定电流

六、元器件明细表(Bill of material)

元件参数	元件	数量	符号
103/275Vac	电容	1	C3
1N4007	二极管	7	D1 D2 D3 D6 D7 D8 D9
0.1uf/275Vac	电容	1	C1
0.5 ohm/0.5W	熔断器	1	F
2.5mH/1A	电感	1	L1
2 x 5mH/1A	共模电感	1	L2
5.1 ohm/2W	电阻	1	R2
10K/471	压敏电阻	1	RV1
0.1uf/25V	电容	1	C8
0.1uf/400V	电容	1	C12
1N4148	二极管	2	D4 D5
1uf/25V	电容	1	C6
1.1mH	电感 EI30	1	L3
224/16V	电容	1	C9
22uf/450V	电容	2	C5 C7
470k/0.5W	电阻	1	R1
153/1kv	电容	1	C11
680pf/1000V	电容	1	C10
62k	电阻	1	R3
IRF830	场效应晶体管	2	Q1 Q2
IR2520D	控制集成电路	1	U1

七、PCB图(φ64mm)(PCB layout)



八、演示板测试波形和数据(Waveform)

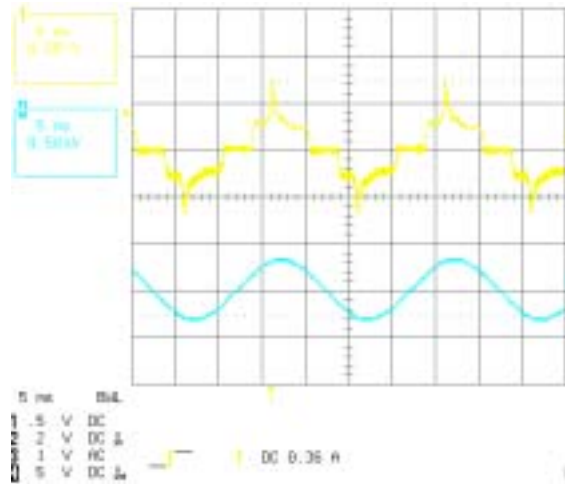


图 10 输入电压 (CH4) 和电流 (CH1) 波形($V_{in}=220V_{ac}$, $PF=0.943$, $P_{in}=55W$)

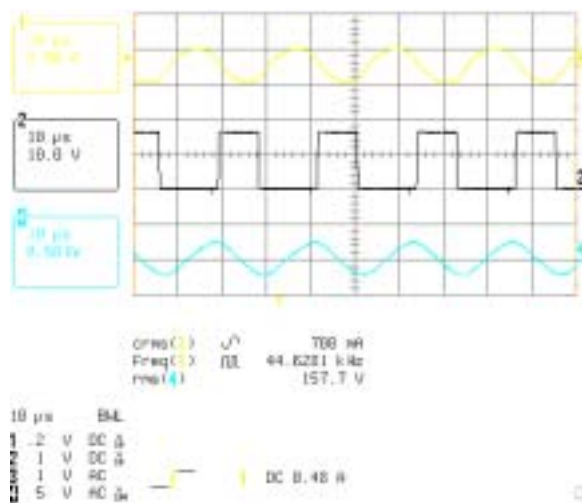


图 11 运行时灯电压 (CH4)、灯电流 (CH1) 和 LO 脚输出 (CH2) 波形 (10us/div, $f_{run}=44.6KHz$)

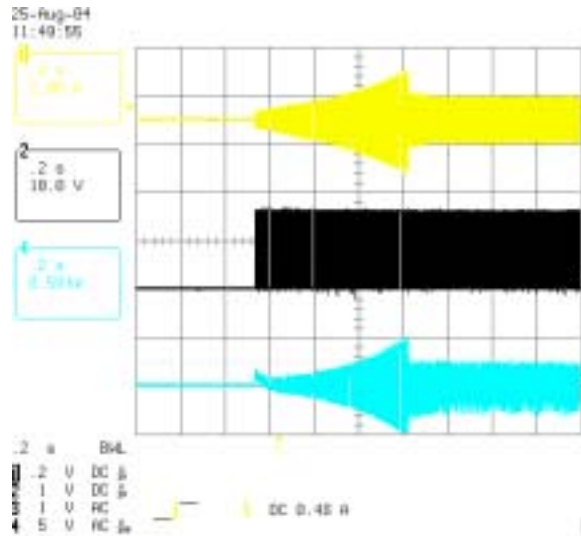


图 12 启动、预热、触发和运行时的灯电压 (CH4)、灯电流 (CH1) 和 LO 脚输出 (CH2) 波形(0.2s/div)

实验数据(Testing data)

输入电压 Vin(V)	输入功率 Pin(W)	输入电流 Iin(rms)(mA,)	运行频率 Frun(KHz)	功率因素 PF	总谐波 THD(%)
170	43.7	274	44.6	0.936	31.10
220	54	259	44.6	0.948	29.68
250	57.5	240	44.6	0.956	28.01

温度特性测量(Temperature raising of power device)

在环境温度 $T_c=27^{\circ}\text{C}$ ，点灯 2 小时后测量各功率元器件的温度变化如下：

IR2520D 温升： $\Delta T=33^{\circ}\text{C}$

谐振电感 L 温升： $\Delta T=35^{\circ}\text{C}$

MOSFET 温升： $\Delta T=48^{\circ}\text{C}$

九、 结论(Conclusion)

通过以上的测试可以看出该演示板完全满足 CFL 灯的要求，加入了无源 PFC 电路后提高了镇流器的输入功率因数，降低了输入电流谐波，并有自身的一些优点和多重保护，是一款低成本、小型化的紧凑型节能灯解决方案。

十、 参考资料(Reference)

1. IR2520D 数据表
2. IR2520D 应用指南 AN-1066
3. IR2520D 参考设计
4. 应用指南 AN-998

