

适用于 3-7W LED 灯具的高效率和高电流精度离线式驱动方案

谭汉生

摘要: 3-7W 通用照明 LED 灯具将取代 40-60W 白炽灯。而电力电子工程师需要在狭小的空间为 3-7W LED 灯具设计并实现高效率和高电流精度并满足安规和 EMI 要求的驱动器。基于 PT4213/5 的高亮度 LED 隔离式驱动器, 采用离线式反激拓扑架构 (Offline Fly-back Topology), PSR (Primary Side Regulator) 恒流控制技术, 在 $16 \times 30 \text{ mm}^2$ 的 PCB 板上实现单片 $\pm 1\%$ 的电流精度和 80% 的效率, 并完全满足 EMI 和安规测试的要求。是 3-7W 通用照明 LED 灯具新一代的解决方案。

Abstract: 3-7W HB LED Lighting fixtures are scheduled to directly replace 40-60W incandescent Bulbs. It is a challenge for the power electronic engineers to design 3-7W LED drivers to achieve higher efficiency and higher constant current accuracy, fully meet safety/EMI requirements on the compact $16 \times 30 \text{ mm}^2$ PCB areas. 3W HB LED offline driver based on PT4213/5 is given. Fly-back topology with primary side feedback constant current control mode is adopted. The driver has the characteristic of $\pm 1\%$ constant current accuracy, 80% high efficiency, easy to fully pass EMI and safety test etc. which is widely used in 3-7W GU10, E27 LED lamp for general lighting.

关键字

LED 驱动器, 离线, 原边反馈, 恒流控制

1. 引言

2011 年, 澳大利亚已经率先禁止使用白炽灯; 欧盟各国、加拿大、日本等国将在 2012 年禁止使用白炽灯; 中国政府在 2011 年将公布淘汰白炽灯的路线图。在政府的推动和 LED 照明所具有的高光效、高节能、长寿命、高可靠性等优点的驱动下, LED 灯具如雨后春笋般快速成长。白炽灯的光效约为 13 lm/W , 普通 40W 白炽灯的光通量大约为 500 lm 。而现在已经商用的大功率 LED 的光效在 $50-150 \text{ lm/W}$, 功率为 5W 的 LED 灯具的光通量约为 500 lm 。所以 3-7W 的 LED 灯具适用于取代 40-60W 的白炽灯。

依据大功率 LED 的 V-I 特性, 3-7W 的 LED 灯具需要恒定的驱动电流来得到恒定的光通量。LED 驱动器成为 LED 灯具的必备件。在光学, 热学, 机械工程, 电力电子这四个专业领域, 各厂商在 LED 灯具行业形成很清晰的产业分工。这给传统的线性电源和开关电源厂商带来了转型升级的商业机遇。传统的线性电源和开关电源厂商如千军万马开始转战 LED 驱动器。LED 灯具的系统工程师为了增加 LED 散热的表面积, 在传统的 GU10、PAR20 的灯具外形表面开槽, 并且槽的深度向本体下陷。给 LED 驱动器留下一个狭小的空间。这给电力电子工程师带来了新的挑战, 他们需要在 $10 \times 16 \text{ mm}^2$ PCB 中面对 90-264Vac 宽电压输入范围, LED 恒流, 原副边电气隔离, 满足 EMI 等挑战。

2. 单片电流精度为 $\pm 3\%$ 的第一代原边反馈离线式 3-7W LED 驱动方案

华润矽威在 2010 年推出了第一代原边反馈离线式 3-7W LED 驱动方案 PT4203 和 PT4204。PT4203 是原边反馈恒流控制器, 适用于 7W 以下的 LED 球泡灯或 PAR 灯。PT4204 是内置 MOSFET 原边反馈恒流的稳

谭汉生

系统应用总监

华润矽威科技(上海)有限公司

流器，适用于 3W 的 LED 灯杯。PT4203/04 采用原边反馈控制 LED 恒流，取消了传统的二次侧的电流反馈环（Current Feedback Loop）中的器件如检测电流的电阻，TL431 和光耦。PT4203/04 还采用了主 MOSFET 源极 (Source) 驱动的架构，这样芯片的供电与变压器的辅助绕组无关。这样简化了芯片的供电和变压器的设计，并可以驱动串联不同 LED 数目的灯串。图 1 为采用 PT4204 的典型应用电路。适用于 3W LED 灯杯。PT4204 的外围零件的个数仅为 6 个，为业界最简化的方案。在 90-264Vac 全电压输入范围，单片的电流精度为 $\pm 3\%$ 。采用 EE10 压器，效率为 72.5%。

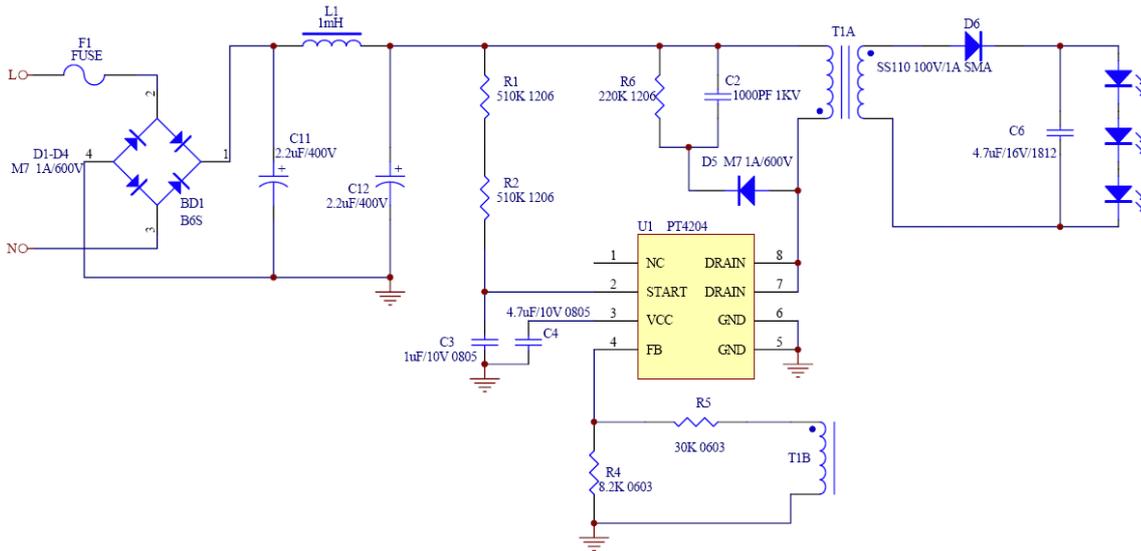


图1：采用PT4204的典型应用电路

3. 单片电流精度为 $\pm 1\%$ 的第二代原边反馈离线式 3-7W LED 驱动方案

PT4203/04 在 2010 年推出后，给电力电子工程师在狭小的空间设计驱动器带来了便利性。PT4203/04 在业界被广泛的采用。虽然 PT4203/4204 单片电流精度可达到 $\pm 3\%$ ，但因为模拟 IC 的工艺相对数字 IC 工艺的标准化的程度要差一些。PT4203/PT4204 在客户端大批量生产时，不同的芯片之间的电流精度在 $\pm 10\%$ 。LED 厂商清楚的知道光通量与 LED 的正向电流成正比。利用相同的电流驱动所有 LED，那么每个 LED 会产生相同的光通量。其实这个结论不全对。因为光源 LED 的一致性也是关键点。比如经过分档后的 LED 光通量的误差还有 3.5%。输出的光通量流明和光照度勒克斯才是 LED 灯具的重点。但电流的测量是很容易实现，而光的测量则需要昂贵的仪器。所以 LED 灯具厂商的结论是高精度的 LED 电流是必须的。

华润矽威的工程师们已经习惯从客户那里听取意见并尽最大的力量去满足客户的要求。华润矽威在 2011 年 9 月推出了单片电流精度为 $\pm 1\%$ 第二代原边反馈离线式 3-7W LED 驱动方案 PT4213 和 PT4215。在大批量生产时，PT4213/15 的电流的精度可达 $\pm 3\%$ 。同时，为了提高效率，PT4213/15 删去了控制主 MOSFET 源极 (Source) 的内部低压 MOSFET，改为主 MOSFET 的栅极驱动。芯片的供电也从主 MOSFET 的源极 (Source) 改为从主变压器的辅助绕组。PT4213 是原边反馈恒流控制器，适用于 7W 以下的 LED 球泡灯或 PAR 灯。PT4215

是内置 MOSFET 原边反馈恒流的稳流器，适用于 3W 的 LED 灯杯。

图 2 是采用 PT4215 的 3W LED 灯杯的典型应用电路。驱动电路采用反激架构，工作在 DCM 模式。采用无光藕设计，方案简洁可靠，成本低廉。驱动电路能够接受 85VAC~265VAC 输入范围，输出电流 300mA，驱动 3 颗 1W LED 串联的灯串。

PT4215 采用脉冲频率调制 (PFM) 控制方式，通过改变开关频率实现 LED 的恒流输出。IC 通过 CS 管脚设定变压器初级侧峰值电流，通过 FB 脚检测输出电压，根据输出电压的大小产生相应的开关频率实现恒定电流输出。输出电流大小可表示为：

$$I_{out} = \frac{0.1125 * Nps * \eta}{R5}$$

Nps 为变压次初级与次级绕组比例， $R5$ 为采样电阻大小， η 为转换效率。

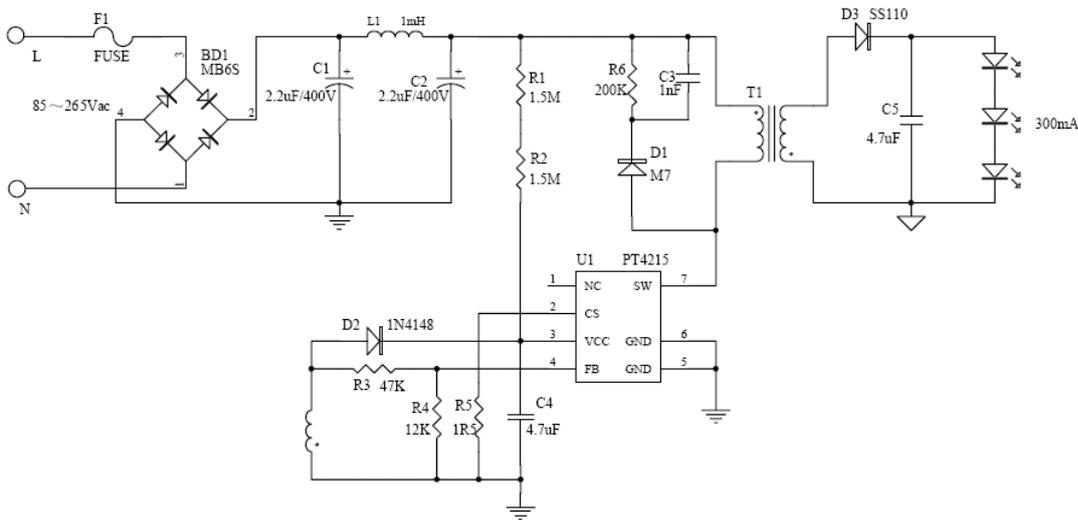


图2：采用PT4215的典型应用电路

图3是实测效率及调整率曲线图；110Vac输入条件下，最高效率超过80%；在100-240Vac的输入电压范围，LED电流的变化只有1mA。

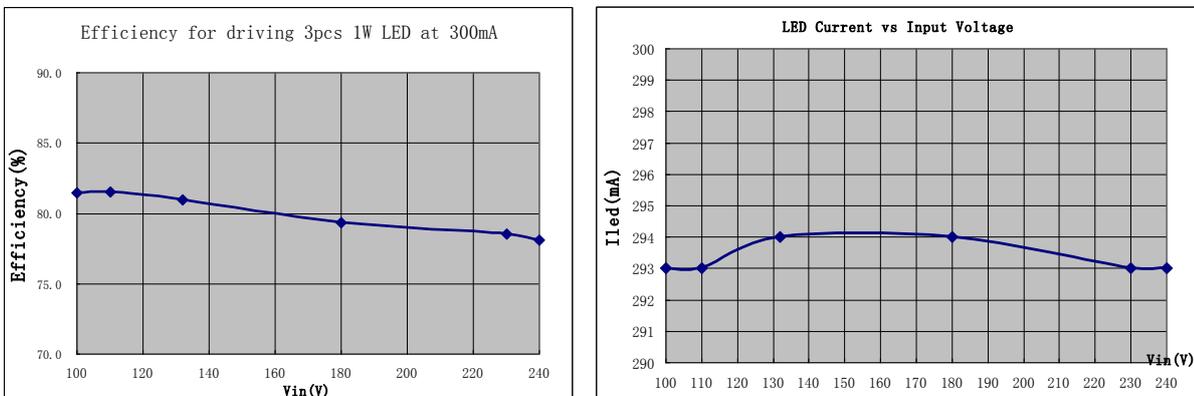


图3 PT4215效率及调整率特性曲线

图4是220Vac输入条件下，驱动器的传导EMI波形，该驱动器只采用了π型滤波网络，初次级间未加Y安规电容，EMI轻松通过EN55015B测试标准。

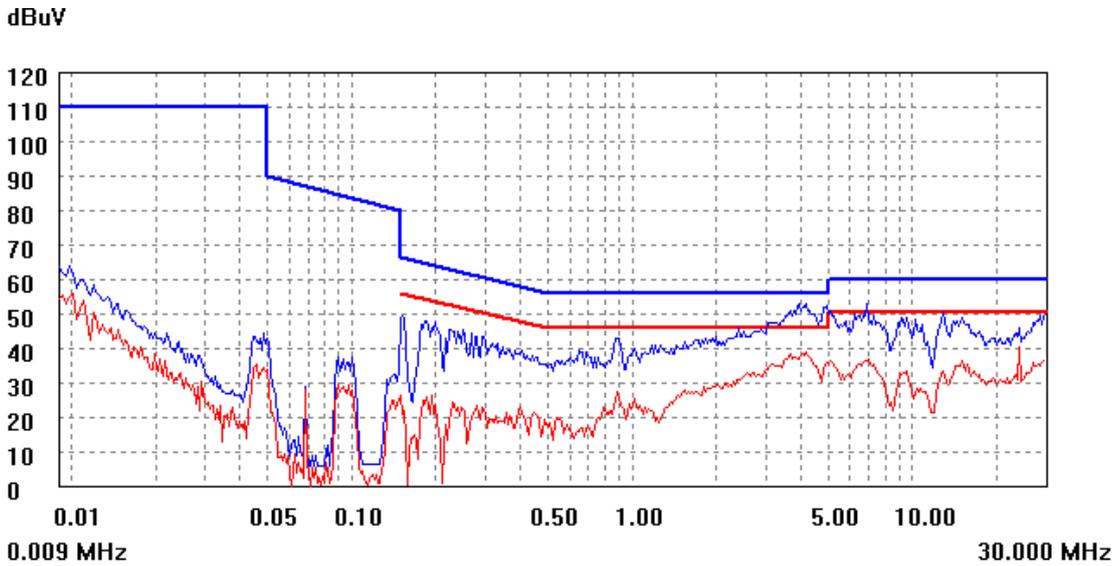


图4 PT4215 3W EMI@220Vac

图5是Demo板Layout图，变压器初次级间距离超过5mm，可通过3750V耐高压测试。

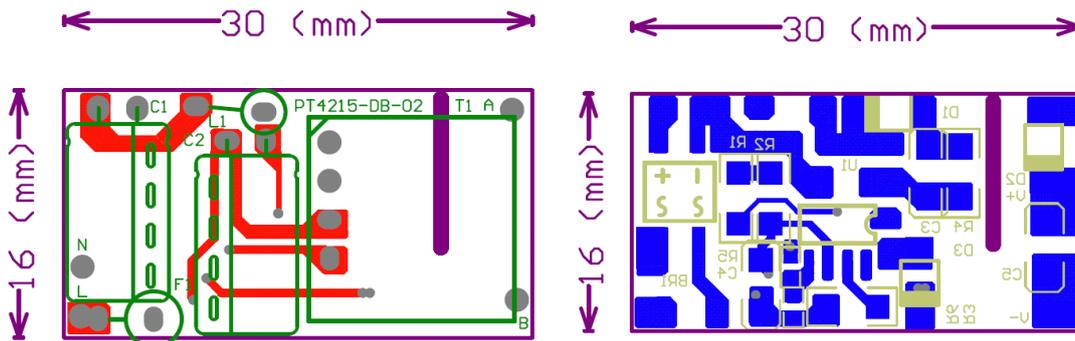


图5 PT4215 Demo-board Top Layer and Bottom layer

4. 结论

本文介绍了华润矽威第一代和第二代原边反馈离线式 3-7W LED 驱动方案 PT4203/04 和 PT4213/15 及其 3W LED 灯杯的典型应用电路。并给出了实验数据及波形。基于 PT4213/15 的 3-7W 的 LED 驱动器以其宽电压输入范围内，单片±1%恒流精度，高达 80%转换效率将成为 LED 灯具厂商首选。