

# 基于PT4201的离线式LED射灯设计技术

华润矽威科技（上海）有限公司 黄裔玥

摘要：本文从市场和技术的角度分析了高压输入LED射灯的电源技术要求。

简述了基于PT4201的离线式LED射灯方案的工作原理。

关键词：市内照明， E27/Par30/Par38， 副边反馈（光耦反馈）

LED照明以其高节能、长寿命、利环保的特点成为大家广为关注的焦点。国内许多地方已经有应用于功能性照明领域的成功案例。我国半导体照明应用技术渐渐走在了世界的前列，随着国家和地方政府的政策鼓励，许多地方在室外照明如：路灯、景观照明等；室内照明如：地铁、地下车库、博物馆；特殊场合照明：如低温照明、矿灯照明、汽车灯等方面被应用广泛。一些传统照明企业开始投资转型LED灯具。LED室内照明和应用技术上正在突飞猛进。室内照明无疑是个巨大的市场，市场前景毋庸置疑。相信在2010年会在家居照明中占据较大的市场份额。

室内照明最普遍的灯具就是E27、GU10、PAR30、PAR38等AC220V高压直接输入的LED射灯。E27、Gu10 LED射灯需要AC直接转换成DC的LED恒流源，才能驱动高亮度LED光源发光。目前还不能提供单个SoC的集成电路产品，大多数是采用原边或副边反馈的开关电源方案。但是原边反馈的方案存在输出电流精度不高的问题，一般都在 $\pm 5\%$ 左右。而采用副边反馈的反激式恒流驱动方案，输出电流精度可达 $\pm 2\%$ 。

可用于副边反馈的反激式恒流驱动方案的驱动IC很多，本文将详细介绍基于PT4201控制芯片的离线式LED射灯设计技术。

## 1W-30W离线式高亮度LED驱动控制器 PT4201

PT4201是一款工作于电流模式、可驱动1W至30W照明或射灯的高亮度LED驱动控制器，适用于1W至30W的各种LED照明和射灯应用，包括E27、PAR30、PAR38等。基于PT4201的隔离式光耦反馈的高亮度LED驱动系统具有恒流精度高、外围电路简单、无闪烁和EMI辐射低的显著优点。在正常工作状态下控制器的振荡频率可以通过外部电阻精确设定。同时，PT4201的前侧消隐电路帮助克服外部功率器件开启瞬间的电压毛刺，能有效避免控制器的误动作造成的LED灯闪烁。内部集成的电流斜率补偿功能提高了系统稳定性。

PT4201 提供完善的保护功能以提高 LED 照明系统的可靠性，包括逐周期过流保护（OCP）、VDD 过压保护（OVP）以及 VDD 欠压保护（UVLO）等。OUT 输出脉冲高电压被嵌制在 18V 保护外部功率 MOS。短路保护功能防止 LED 负载短路时损坏系统。

PT4201 提供 SOT-23-6 封装，引脚排列见图 1。

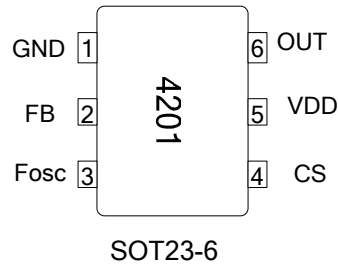


图 1 PT4201 引脚排列

## PT4201基本功能描述

PT4201 集成了多种增强功能，并以其极低的启动和工作电流、多重保护功能为小功率 LED 照明驱动提供性能优良可靠的低成本解决方案。

### 启动及 UVLO:

PT4201 通过一个连接到高压线上的电阻  $R_{start}$  对连接在 Vdd 脚上的电容  $Chold$  充电实现启动。在上电之初， $Chold$  电容上的电压为 0，PT4201 处于关断状态，从  $R_{start}$  上流下的电流对  $Chold$  进行充电从而使 Vdd 电压升高，当 Vdd 脚电压达到芯片启动电压  $V_{DD-ON}$  之后 PT4201 开始工作，工作之后流进 Vdd 电流增加，由辅助绕组开始对芯片进行供电。

优化设计的启动电路使 PT4201 启动之前 VDD 只消耗极低的电流，这样可以选用比较大的启动电阻  $R_{start}$  从而改善整机效率。对于一般的通用输入范围的应用，一个 2Mohm，1/8W 的电阻和一个 10uF/50V 的电容器可以组成一个简单可靠的启动电路（图 2）。

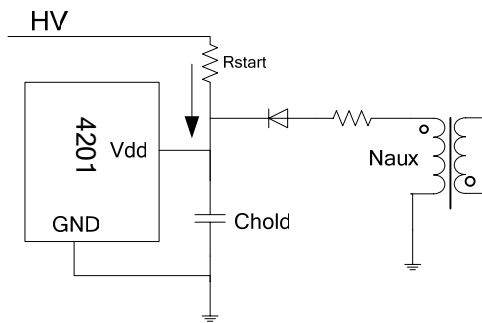


图 2 PT4201 启动电路

### 电流反馈及 PWM 控制:

PT4201 采用光耦检测输出 LED 串的电通过改变输出脉冲占空比达到输出电流控制目的。如图 3 所示，当 LED 电流达到设定值时，LED 电流在采样电阻  $R_2$  上的压降达到光耦发光管导通电压，发光管导通使 FB 电压下降，PT4201 根据 FB 电压的大小改变输出脉冲占空比实现恒定电流输出。

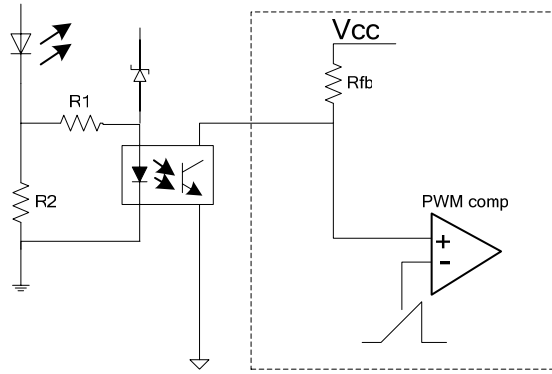


图 3 光耦电路

**LED 开路:**

LED 负载开路时，流过稳压管的电流在电阻 R1 和 R2 上产生一个压降使光耦发光管被打开，使 PT4201 的 FB 降低。当 FB 降低到一定程度时 PT4201 进入突发模式，整个系统进入低功耗模式。因此 LED 灯开路是安全的。

**LED 短路及采样电阻短路保护:**

当 LED 负载发生短路时，光耦发光管两端电压等于输出电压，由于输出功率很小因此整个系统工作是安全的。当采样电阻发生短路时，由于光耦发光管两端电压为零，发光管不导通导致 FB 电压快速爬升到保护阈值。在 Rosc 为 100Kohm 情况下，过 32mS 后 PT4201 将自动关闭。

**工作频率设定:**

PT4201 的 Rosc 引脚为设定 PWM 频率提供了方便, 用一个电阻接在 Rosc 引脚和 GND 之间可以对 PWM 频率进行设定 (图 4)。PWM 频率与设定电阻之间的关系遵循以下关系: $F_{osc}=6500/R_{osc}$ 。FOSC 单位 KHz, Rosc 单位 Kohm。

PT4201 在正常工作时会周期性地改变 PWM 工作频率进行频率抖动，周期性改变的频率把 EMI 传导干扰扩展到更宽的频谱范围内从而降低了传导段的 EMI 干扰。

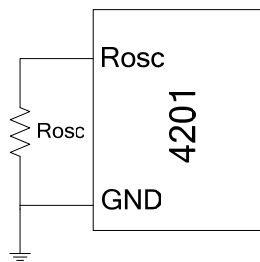


图 4 工作频率设定

**电流采样以及前沿消隐:**

PT4201 的 CS 引脚的功能之一是采样外部 MOSFET 电流进行电流斜率补偿, 二是提供逐周期的 MOSFET 过流保护功能。PT4201 通过采样与功率 MOSFET 串联的采样电阻来采样流过 MOSFET 的电流, 流过 MOSFET 的电流在采样电阻 Rcs 上转换成电压信号, CS 上电压和 FB 电压共同决定了 PWM 脉冲占空比。

在 PWM 每个导通周期当 CS 引脚的电压超过内部门限电压时 MOSFET 将立即被关掉防止过流对器件的损伤。过流门限电压与 MOSFET 的电流可由以下关系确定:

$$I_{oc} = V_{oc} / R_{cs}$$

其中  $I_{oc}$  为 MOSFET 电流， $V_{oc}$  为过流门限电压， $R_{cs}$  为采样电阻大小。内部过流的门限值与 PWM 占空比大小有关，当 PWM 占空比为 0 时，过流门限值为 0.80V。由于变压器副绕组整流电路反向恢复时间以及初级绕组寄生电容等因素影响，在每一个 PWM 周期开启瞬间会在采样电阻上产生一个持续时间很短的尖峰电压。为此 PT4201 会在 MOSFET 开启后屏蔽 CS 采样输入一段时间  $T_{BLK}$ ，在这段时间内，过流保护被关闭不会关掉外部 MOSFET。这样可以避免 MOSFET 开启瞬间在采样电阻上产生的电压毛刺而造成误动作。PT4201 提供的这种功能可以省去电流采样电路所需的 RC 滤波器(图 5)。

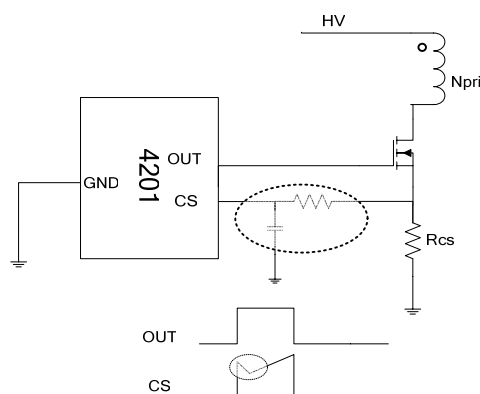


图 5 省略 RC 滤波器

### VDD 过压保护

当系统发生严重故障时，例如对于光耦开路或者反馈开路的情况，光耦输出电流接近零致使 FB 端电压上升。FB 电压上升将会使 PT4201 工作在过流保护状态，因为有多余的电流供给负载，如果超出了负载所需电流大小会使输出电压迅速爬升。由于辅助绕组的电压与输出电压成一定的比例，输出电压升高引起辅助绕组电压升高进而使 VDD 电压升高，当 PT4201 检测到 VDD 引脚电压达到过压保护点时会关闭 PWM。当 OVP 被触发时由于没有能量供给负载及辅助绕组，VDD 电压和输出电压下降，当降低到 OVP 解除电压时将重新开启正常工作。这时如果故障解除则正常工作，如果故障依然存在将重新进入 OVP 保护状态（图 6）。

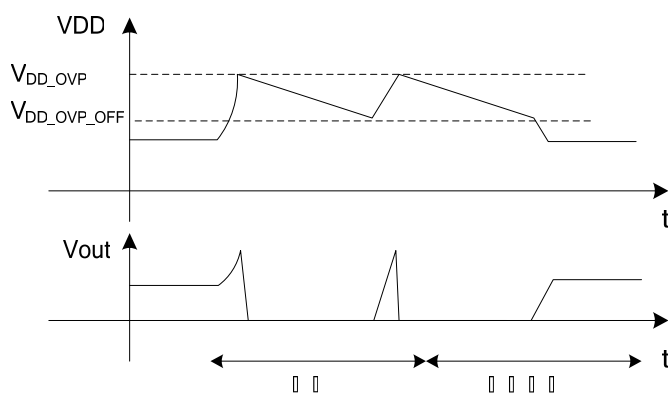


图 6 VDD 过压保护

OUT 输出驱动:

PT4201 的 OUT 脚用来驱动功率 MOSFET 的栅极。优化设计图腾柱形式输出的驱动能力使驱动强度和 EMI 得到良好的折衷。同时，OUT 的输出高电位被限制到了 18V，从而可以保护由于 VDD 升高可能对 MOSFET 造成的损伤。内部 OUT 和 GND 之间有一个电阻，可以在芯片不工作时将外部 MOSFET 的栅极可靠置为 0 电位。

### 基于 PT4201 的 E27 3W 离线式射灯方案

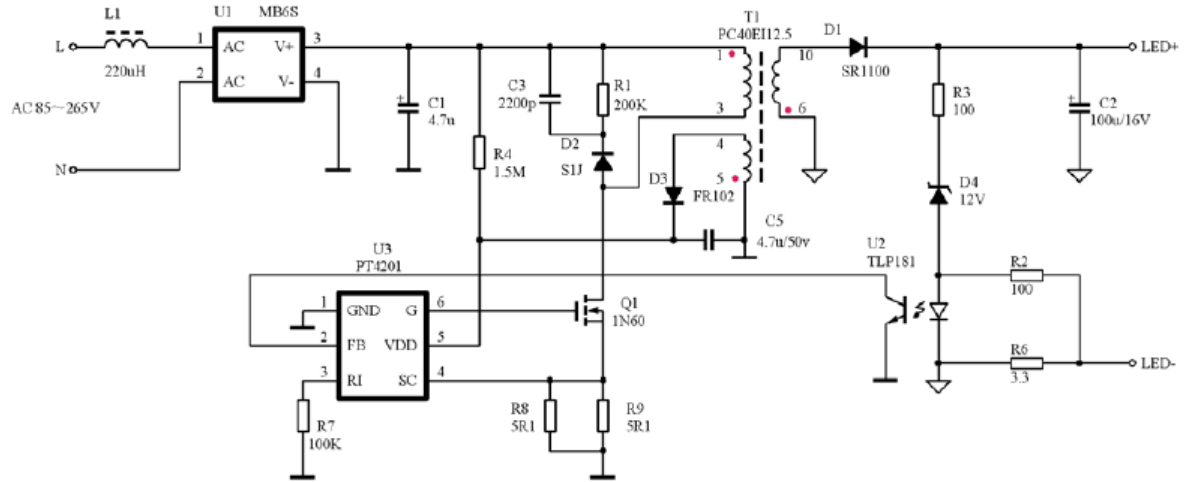


图 7 基于 PT4201 的 E27 3W 离线式射灯方案

基于PT4201的E27 3W离线式射灯方案应用线路是典型的反激式的拓扑结构，采用副边反馈（即光耦反馈），以提高输出电流精度。相比于原边反馈电路电流精度 $\pm 5\%$ ，副边反馈的电路精度在 $\pm 2\%$ 以内，成本只增加了0.3RMB，但却给大批量生产时提供了便利。

3W E27的应用一般负载接3颗1W的LED，每颗LED的VF在3.4V $\pm$ 0.2V左右。一般电流为300mA-350mA。工作原理如图7所示，AC85V-265V交流电输入，通过L1（相当于一个保险丝，抗浪涌）后接入整流桥，从整流桥出来的电压大约为1.4XVin，电流1A左右。C1是一个滤波电容，电容值的选择大约是负载功率的1-3倍即可，此处3W的应用采用4.7uF的电容，如选择太小的会导致纹波大，选择太大的空间又不允许。PT4201的VDD端一开始由R4降压后供电，18V启动，启动之后就通过变压器辅助绕组供电，电压在9-27V之间。R1、C3和D2是一个RCD吸收回路，用来吸收Q1开关时产生的尖峰。减小R1，可以提高吸收效果，但是会导致系统效率降低，建议采用折衷的方式。PT4201的RI端所接电阻R7是用来设定开关频率的，此处把频率设定在65kHz。PT4201的CS端连接采样电阻R8、R9，设置电流。变压器是一个重要的部件，采用反激式的拓扑结构，当Q1关断时，变压器5、6断导通，D1的耐压为变压器输入电压/匝数比+变压器输出电压。当Q1开时，变压器1、2端有电流，3、4、5、6端截止，D1的耐压为变压器输出电压X匝数比+变压器输入电压。D1、T1、Q1是影响效率的关键，D1反向耐压与T1匝数比互相牵制。电路右边SR1100是一个肖特基二极管或者可采用快恢复二极管整流。当空载时，R3是一个限流电阻，限制这条支路上的电流在10mA，D4在这里选用12V稳压管，起到一个整流限压的作用，在空载时才工作，R2是一个分流电阻，R2上流过的电流为10mA，R2左端的电压为1V。带负载时，R6两端的电压为1V左右，通过选择电阻值不同调节输出电流，这是1X3W的应用，工作电流设定在300mA左右。U2是光耦，当R6上的电流变大时，发光二极管上的电流变大，光敏电阻感应到之后，反馈电

流到PT4201FB端，FB端电压变小，PT4201通过调整占空比来使能量降低，随之降低R6上的电流。由于是从输出端采样电流反馈到芯片，这样的副边反馈，实时对电流进行微调，提高了输出电流的精度。

图 8 是这个 3W E27 方案的照片，体积很小，放入 E27 灯头绰绰有余。



改变这个方案的部分设计数据，可以设计 5W、7W、12W 的各种方案，工作原理雷同。由于 5W-12W 的应用空间较大，所以允许在 3W 的基础上加上一些辅助电路。如增加抗雷击器件、可以提高 EMC 的共轭电感、PFC、 $\Pi$ 滤波器等等，以提高整个电路过 EMC 的能力、工作效率、PFC。

参考文献：

《Powtech 离线式 LED 射灯解决方案》

《PT4201Datasheet》

2009-8-18