

Design and Facture of Drive Circuits for White LEDs

LING Donxiong, XIE Zhengfeng, WANG Hongcheng, ZHANG Shaoqiang

School of Electronic Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan, China

e-mail: lingdx@dgut.edu.cn

Abstract: The white LED is a component driven by a permanent electric current, so it needs a stable working current. In this paper, by analysis of the design requirements and a variety of mode of connection of drive circuits for white LEDs, the suitable drive circuits for white LEDs are designed. This paper focuses on the design and facture of the drive circuit for the single high-power 5W white LED, which can be driven directly by 220V AC with a relatively wide input voltage range.

Keywords: white LED; high-power; drive circuit; design and facture

白光 LED 驱动电路的设计与制作

凌东雄, 谢振锋, 王红成, 张绍强

东莞理工学院电子工程学院, 东莞, 中国, 523808

e-mail: lingdx@dgut.edu.cn

摘 要: 白光 LED 为恒电流驱动器件, 需要提供稳定的工作电流。本文通过分析白光 LED 驱动电路的各项设计要求和各种 LED 连接方式, 设计适合白光 LED 的驱动电路。本文重点设计并制作单颗 5W 大功率白光 LED 的驱动电路, 其直接由 220V 交流电供电, 且输入电压范围比较宽。

关键词: 白光 LED; 大功率; 驱动电路; 设计与制作

1 引言

1.1 白光LED驱动技术

驱动电路是 LED 产品的重要组成部分, 其技术成熟度正随着 LED 市场的扩张而逐步增强。无论在照明、背光源还是显示板领域, 驱动电路技术架构的选择都应具体的应用相匹配。

1.1.1 白光LED驱动电路的设计要求

通过对白光 LED 光电和热性能的分析发现, 影响白光 LED 的主要因素为工作电流、电压和温度, 各因素间相互关联。所以对白光 LED 光源电路的设计, 应充分考虑各关联因素之间的均衡, 这直接关系到白光 LED 光源的可靠性和实用性。白色 LED 温度特性不好, 电流变化率近似为 $6 \text{ mA}/^{\circ}\text{C}$, 在温度变化较大的环境应用时应考虑温度的影响^[1], 特别是在设计大功率白光 LED 驱动电路时, 更要考虑温升对发光效率和亮度的影响。

电源必须具有高可靠性, 高效率驱动, 具有高功率因数。大部分的照明灯具都安装在比较高的地方, 特别是路灯安装在高空, 维修很困难, 则电源可靠性必须得以保证。高的电源效率, 耗损功率自然就小, 也就降低了灯具的温升, 对延缓 LED 的光衰能提供同

步的辅助作用, 同时也能降低散热块的体积, 灯具的体积更小化。

驱动电路要有浪涌保护。LED 抗浪涌的能力是比较差的, 特别是抗反向电压能力。这方面的保护在电路设计时也很重要。比如户外使用的 LED 路灯。由于电网负载的启甩和雷击的感应, 从电网系统会侵入各种浪涌, 有些浪涌会导致 LED 的损坏。因此 LED 驱动电源应有抑制浪涌的侵入, 保护 LED 不被损坏的能力。电源除了常规的保护功能外, 最好在恒流输出中增加 LED 温度负反馈, 防止 LED 温度过高。

电源要具备其他电气性能。具有较高精度的恒流控制和合适的限压功能; 调光功能应具有良好的线性度以满足不同应用场合对 LED 发光亮度的调节要求; 在异常状态(LED 断路、短路、驱动电路故障等)时, 电路能够对电路自身、LED 和使用者都有相应的保护作用; 驱动电路工作时不会干扰其它器件的正常工作^[2,3], 驱动电源的设计使用寿命要与 LED 的寿命相适配, 要符合安规和电磁兼容的要求^[4]。

1.1.2 多个LED的连接方式

当电路中不只一颗 LED 时, 就必须确定一种 LED 连接方案。在选择连接方案时并无硬性规则。有时只是偏爱问题, 有时 LED 的连接方案可依据驱动器

的选择来决定,有时可用供电电源和所需效能也会影响连接方案的选择。

多个 LED 的连接一般分为三种主要结构,即串联、并联(共阳极、共阴极、共阴阳极),以及串、并混联。

串联电路中 LED 电流处处相等。串联的优点是,如果其中之一的 LED 开路,所有的 LED 都不会发光。串联两端的总 V_F 变大,但对电流的需求变小。LED 驱动电路输出的 LED 电压必须大于串联中总的电压 V_F 。通常,额定 LED 输出电压越接近串联中总的电压 V_F ,LED 的效能越大。

共阳极或共阴极并联,可以独立调整每一个 LED 的电流。并联的优点是,当一个 LED 开路时,不会对其他 LED 造成影响。并联的缺点是,电路需要较高的额定电流。

在使用共阳极与共阴极并联的连接方式连接多个 LED 时,LED 导通电压之间的差异会导致电流参差。可以通过使用最小数量且具有匹配特性的 LED 来避免出现这一情况,即相当于把若干具有匹配特性的 LED 放在一起形成一个具有较高额定电流的大 LED。由于具有不同的老化特性和热特性,这些相匹配的 LED 可能会逐渐分化。串并联混合连接方案通常是总 V_F 需求与总电流需求的折衷方案,因此它更适合于有效 LED 驱动。

1.1.3 白光LED驱动电路的种类

按照驱动芯片类型的不同,可大致分为线性调整型、电荷泵和电感开关型三种^[5,6]。

(1) 线性调整型驱动电路

如果系统提供高于发光二极管正向导通电压的电平,白光 LED 可以很容易的被驱动,供电电压可通过线性调整型恒流源为 LED 供电,同时可采用脉宽调制(PWM)电源方式以避免 LED“色偏”问题。在电源电压较为有限的应用场合,多个白光 LED 只能以并联方式工作。此时采用集成恒流源来驱动 LED,可以消除电源电压变动所造成的不利影响。

(2) 电荷泵型驱动电路

电荷泵通过开关阵列和振荡器、逻辑电路、比较控制器实现电压变换,可以组成升压式或降压式结构,采用电容器储能,具有体积小、设计简单的优点,一般使用外围器件少,成本低。但是该电路结构一般只能提供有限的输出电压范围,绝大多数升压型电荷泵驱动电路输出电压不超过输入电压的两倍,往往要并联驱动 LED,受到电流匹配的限制,而且相比较之下,此电路结构的电源效率也不是最高的^[7]。

(3) 电感开关型驱动电路

电感开关型采用电感作为储能元件,可实现比电荷泵更高的升压比,并且升压增益可连续调节;由于采用的开关数量少,开关电阻更小,因而效率比电荷泵要高,一般可达 90%。但电感型所用外接电感以及肖特基二极管占用空间大,电感的片上集成也很难,电磁干扰比电荷泵型要大。比较而一言,目前大多数设计中还是采用电感式驱动器。

2 大功率白光 LED 驱动设计与制作

2.1 白光LED基本驱动电路

由开关变换器构成的 LED 基本驱动电路如图 1 所示,反馈电压 V_{FB} 与内部基准电压 V_{ref} 进行比较后控制变换器的输出电压。

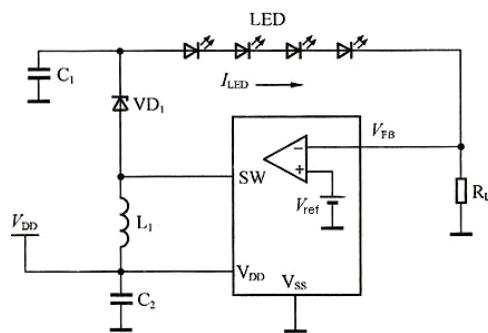


图 1. 由开关变换器构成的 LED 基本驱动电路

Figure 1. Basic drive circuit constituted by the switching converter for LEDs

2.2 电流模式PWM控制技术

PWM 控制技术主要有电压型和电流型两种,电压模式控制 PWM 是 60 年代后期开关稳压电源刚刚开始发展而采用的第一种控制方法。电压模式控制只有一个电压反馈闭环,采用脉冲宽度调制法,是一种单环控制系统。它有一些明显的缺点,如对输入电压的变化动态响应较慢、补偿网络设计复杂等。针对上述电压型控制的缺点,最近十几年发展起来了电流型控制技术^[8],目前已得到了广泛应用。电流模式 PWM 控制的系统原理图如图 2 所示:

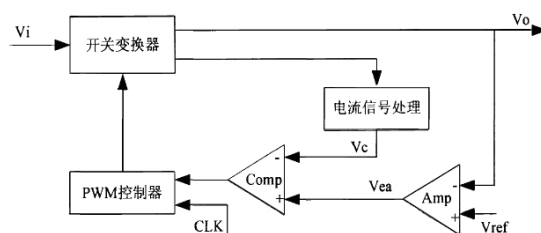


图 2. 电流模式 PWM 控制系统

Figure 2. Current-mode PWM control system

电流控制型开关变换器增加了一个电流反馈环,使其成为一个双环控制系统,让电感上的电流不再是一独立变量,从而使开关变换器的二阶模型去掉了电感电流而成为一阶系统。这是非常典型的峰值电流控制模式,因为峰电感电流容易传感,而且在逻辑上与平均电感电流大小变化相一致。

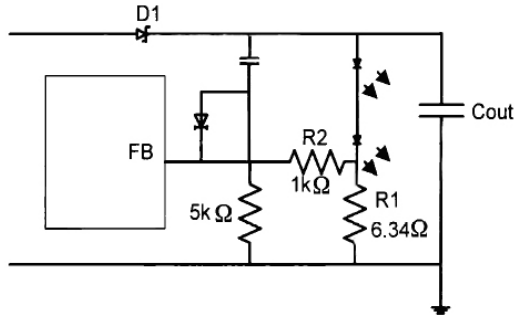


图 3. 软启动应用电路

Figure 3. The soft-start application circuit

电流模式相比电压模式如下的优点:对输入电压变化响应快,抗干扰性能强;逐脉冲控制,保护机制简化,控制环易于设计;变压器的磁通平衡;回路稳定性好、负载响应快。电流型控制可以看作是一个受输出电压控制的电流源,而电流源的电流大小就反映了电源输出电压的大小。这是因为电感中电流脉冲的幅值是与直流输出电流的平均值成比例的,因而电感的延迟作用就没有了。电流控制型开关电源本身也有缺点,如电感峰值电流与平均电流有误差;直流开环负载调整率较差。但绝大部分可以采取适当措施后得到满意地解决。

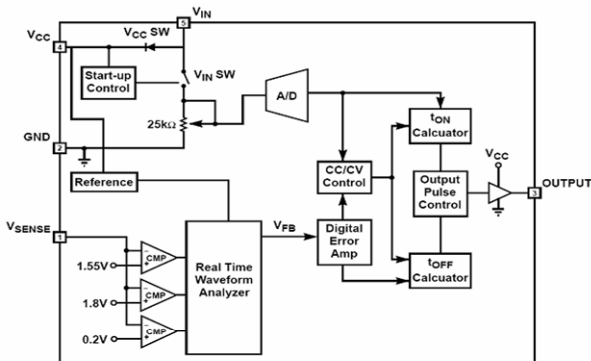


图 4. iW1696 内部框架图

Figure 4. The inner framework of iW1696

2.3 开路保护

在输出开路的情况下,当 LED 与电路关断或 LED 发生故障而断路时,反馈电压将变为零,芯片随后将

以高占空比进行开关操作,从而产生高输出电压,有可能导致 SW 引脚电压过高击毁电路。为解决这一问题,可以在输出端增加一个齐纳二极管以限制 SW 引脚上的电压。而齐纳二极管电压就高于 LED 串的最大正向电压,所以要选择耐压高的器件。

2.4 调光控制

固定的外接 RI 电阻带来了固定的 LED 电流,为实现灵活的调光控制,可采用以下四种方法^[9-11]: (1) 采用一个 PWM 信号至 SHDN 引脚 (2) 采用一个 DC 电压 (3) 采用一个滤波 PWM 信号 (4) 采用逻辑信号。

2.5 软起动电路

软启动电路主要是防止芯片启动时涌流过大。为了实现最短的启动延迟,芯片未采用内部软启动电路。当在没有采用外部软启动电路的情况下首次接通,会涌入较大电流,可采用如图 3 所示的软启动电路^[12]。

3 节能照明灯泡驱动电路设计

3.1 基于 iW1696 的驱动电路设计

3.1.1 iWatt 的 iW1696 技术特征

如图 4 所示,iW1696 采用五脚封装形式,VSENSE 为基准电压端,VIN 为反馈电压端,输出端最高可以输出 12V 的电压,最大输出电流可以达到 700mA,最高驱动功率可以达到 5W。

3.1.2 iW1696 电路设计

图 5 为模拟调光电路,可以通过调节电阻 R7 的大小来调节输出端的电流,而通过调节 R8, R9 的大小比例可以调节输出端的电压。开关管的源极和漏极的电压,即峰值电压可以达到 544V。该电路比较适用于家用灯具等对亮度调节要求不高的驱动设计。受制于灯具外壳尺寸以及内部容积的大小,大部分元件都采用贴片式封装形式,在减少电源模块体积的同时,也因为元件排列过密,会产生各种电磁干扰,所以各元件的发热系数不能过高,而且对其他元件的影响应为最小。

3.1.3 灯具

灯具外壳使用通用家用灯泡螺旋式接口,上部分为灯罩,中间为铝合金散热筛片,并通过螺旋连接灯罩与固定螺旋头,大功率直接固定在散热筛片的上端平面上。由于此款灯壳是灯具制造商针对现有钨丝灯泡的外形而仿真开发的,在外观尺寸上与普通灯泡没

有多大区别,且由于使用了金属将各个部件隔开,增加一定的金属质感,让人觉得比较科技时尚。

3.2 分析与讨论

现在目前市场上 5W 大功率白光 LED 灯泡产品只要为 5 个 1W 的大功率连接而成,占的面积比较大以及散热板很大,开发出来的灯具体积也很大,而且各光源点之间的距离过大,会造成光线分布不均匀,出现暗带或亮带。根据对市场上现有的灯具外壳的散热筛片的散热面积的计算,以及对单颗 5W 的热计算,采用了单个 5W 大功率白光 LED 和普通的灯具外壳的方案,成品在体积上没有市场上现有的 5W 灯泡的体积大,但是发光功率却可达到 5W 级别的光效率,同时也不影响散热,散热筛片最高温度只能达到 60℃ 左右,应用前景比较广泛。

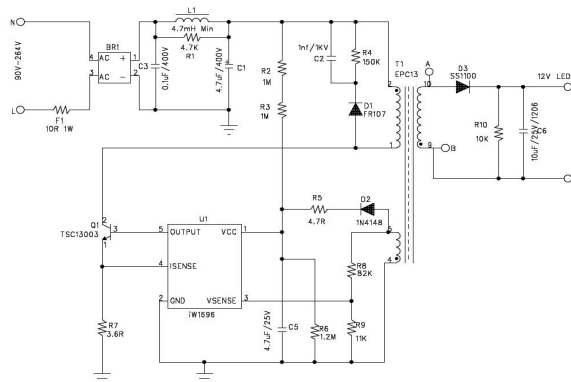


图 5. iW1696 外围电路图

Figure 5. The external circuit of iW1696

由于大功率晶片的性能随着制造工艺的进步以及新材料的开发,而呈现出不断上升的趋势。向着更高光效和光通量的方向前进,制造大功率白光 LED 可以使用更高能效的晶片制造,可以有着更高的光输出。

制造工艺上,由于采用更好机器以及新的发光机制,在光衰减以及光耗方面得到有效控制,并将 LED 质量进一步提升,特别是在大功率白光色温控制上,点荧光粉的工艺和方式要不断改进,在批量生产中,提高良品率。

在电源选择上,可以选用更高输出效率的芯片,并将外围器件数量尽量减少,可以把电源做得更小,更可靠。控制亮度方面可以考虑用电流式 PWM 方式,能对灯具亮度随时进行调节,以不同亮度试用不同的场合,增加灯具的市场空间。

采用新型导光材料制造灯罩,在避免光源点强光伤害眼睛的同时,又能将光散发均匀开来,扩大光的

照射角度与范围,可尝试采用透明导光材料,可以使成品灯具达到更高的光效,从而减少能耗,节约能源。

4 结论

大功率 LED 的制造工艺迅速发展带动了照明市场的不断进步,大功率白光 LED 在家用照明灯具上的应用将成为灯具市场增长的重中之重。本文就大功率白光 LED 在照明灯具上的应用做了研究,主要分析驱动电路设计以及灯具设计等关键技术。以单颗 5W 大功率白光 LED 作为光源,设计了驱动电源,考虑到此款产品的市场定位为替代现有家用钨丝灯泡,所以采用模拟调光方式芯片,并将输出功率恒定在很小的范围。PCB 板为双层板,大部分元件选用贴片封装形式,充分利用空间。

目前,LED 照明灯具关键需要解决几个方面的问题,一为大功率白光 LED 的输出光效,二为驱动电路,三为灯具的散热问题。

不断使用新的材料以及使用更先进的封装制造工艺,将会逐渐改变这种大功率白光 LED 光效低的状况。采用散热系数更高的散热筛片,或者使用其他散热效率更高的散热方式,比如水冷管道散热方式等,从而减少能量的损耗,也同时减少温度对晶片发光效率的影响。在二次光源设计上,可以使用导光材料构造面光源,让我们的照明灯具变得更加完美。

在驱动电路设计问题上,随着大功率 LED 驱动芯片的性能不断提升,负载能力更大,输出更加稳定,输出效率更高,外围器件也逐渐减少,这将减少开发新驱动电源的时间和物力。

致谢

感谢东莞理工学院宋跃教授对本文提供的帮助,也感谢参考文献中所列的每一位作者。

References (参考文献)

- [1] Wang Jianjun. Study of white LED light source circuit design[J]. Journal of Qinghai University, 2006, 4(2): 30-33.
王建军. 白色 LED 光源电路设计研究[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2006, 4(2): 30-33.
- [2] Yang Guang. Properties and applications of lighting white LED [J]. Lamps & Lighting, 2007(01): 4-6, 24.
杨光. 照明级白光 LED 的性能与应用[J]. 光源与照明, 2007(01): 4-6, 24.
- [3] Fang Pei-Min. Progress of White LED driver [J]. Electronic Products China, 2005(09): 31-36.
方佩敏. 白色 LED 驱动器的发展概况[J]. 今日电子, 2005(09): 31-36.
- [4] Gong Wen-Li. The problems need to be solved in using high power LED in lighting fixture design[J]. Light & Lighting, 2008, 12(32): 32-33.
公文礼. 大功率 LED 在照明灯具设计中需要解决的问题[J]. 灯与照明 2008, 12(32): 32-33.

- [5] Ping Li. White LED Drivers [J]. Advanced Display, 2006(06): 45-49.
平立. 白光 LED 驱动综述[J]. 现代显示, 2006(06):45-49.
- [6] Li Ping, Zhou Tan-wei. High luminance LED drivers, Electro-technical application 2007(06): 6-10.
黎平, 周摊维. 高亮度 LED 驱动器概述[J]. 电气应用, 2007(06): 6-10.
- [7] Wang Da-Peng, Chen Chang-Long. New Driving Circuit for White LEDs[J], Advanced Display, 2006(06): 99-102.
王大鹏, 陈昌龙. 新型白光 LED 驱动电路[J]. 现代显示, 2006(06): 99-102.
- [8] Phillip E. Allen Douglas R.Holberg. CMOS Analog Circuit Design[M]. Publishing House of Electronics Industry, 2005: 379-387.
- [9] G. C. M. Meijer, P. C. Schmale and K. van Zalinge. A New Curvature-Corrected Bandgap Reference, IEEE Journal of Solid-State Circuits[J], Vol.SC-17, PP.1139-1143, December 1982.
- [10] B. S. Song and P. R. Gray. A Precision Curvature-Compensated CMOS Bandgap Reference, IEEE Journal of Solid-State Circuits[J], Vol.SC-18, PP. 634-643.
- [11] JohnP. Uyemura. Super-scale integrated circuits and systems[M]. Beijing: publication house of electronics industry, 2004: 414-416.
JohnP. Uyemura. 超大规模集成电路与系统导论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 414-416.
- [12] Christopher Saint, Judy Saint. Design of integrate circuits map[M]. Beijing: Qinghua University publication house, 2003: 49-79.
Christopher Saint, Judy Saint. 集成电路版图设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 49-79.