

文章编号: 1674-8085 (2010) 05-0079-04

# 基于恒流二极管的小功率 LED 驱动电路设计

尹 杰, 邱云峰, \*刘 桥, 王 义

(贵州大学理学院, 贵州, 贵阳 550025)

**摘 要:** 提出一种基于恒流二极管的电容降压式小功率 LED 驱动电路设计方案, 由交流市电供电, 输出低压恒流, 只需调整电路中部分元件参数即可恒流驱动不同功率 LED 灯组。这种设计方案在传统电容降压驱动电路基础上引入了恒流二极管, 保证了驱动源低压恒流输出。负载小功率 LED 采用交叉阵列方式连接, 降低了灭灯率。

**关键字:** 电路与系统; 白光 LED; 驱动电路; 恒流二极管; 电容降压; LED 阵列

中图分类号: TN312.8

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2010.05.018

## THE DESIGN OF LOW POWER LED DRIVER BASED ON CURRENT REGULATIVE DIODE

YIN Jie, QIU Yun-feng, \*LIU Qiao, WANG Yi

(College of Science, Guizhou University, Guizhou, GuiYang 550025, China)

**Abstract:** We propose the design of a capacitance buck, low-power LED driver circuit based on current regulative diode. It is powered with AC power and output low voltage and constant current. Simply adjust the component parameters of parts, the circuit can drive LED array of different power with constant current. In this design, we bring in current regulative diode based on traditional capacitance buck driver circuit to ensure that driving source output low voltage and constant current. Furthermore, we connect low power load LED with cross-array mode, decreasing the light off rate.

**Key words:** circuits and systems; white LED; driver circuit; current regulative diode; capacitance buck; LED array

### 0 引言

近几年, LED 的发光效率增长 100 倍, 成本下降了 10 倍, 广泛用于背光、信号显示、照明等领域。在 LED 光源及市场开发中, 极具发展与应用前景的是白光 LED, 它用作固体照明器件的经济性显著, 且有利于环保, 正逐步取代传统的白炽灯。由于小功率白光 LED 价格低廉, 发热量小, 光效

高等特点, 被大范围的应用到了普通照明, 景观照明<sup>[1]</sup>, 因此小功率 LED 驱动电源的设计和性能上的提高也就有了迫切的需求。LED 照明灯通常采用市电供电, 由于 LED 工作电压低, 电流小等特点, 用市电驱动 LED 要解决降压和整流问题, 还要有比较高的效率, 较小的体积和较低成本。LED 是电流驱动器件, 其亮度与正向电流成正比, 为了保证 LED 发光高效均匀、LED 驱动源应为恒电流

收稿日期: 2010-06-18; 修改日期: 2010-06-30

基金项目: 贵州省科技厅工业攻关项目(黔科合 GY 字[2009]3008)

作者简介: 尹 杰(1984-), 女, 吉林长春人, 硕士生, 主要从事 EDA 研究(E-mail: happy\_yinjie@sina.com);

邱云峰(1985-), 男, 湖北荆州人, 硕士生, 主要从事电路与系统研究(E-mail: xiao20042003@126.com);

\*刘 桥(1955-), 男, 贵州贵阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事电路与系统研究(E-mail: liuqiao1955@163.com);

王 义(1957-), 男, 贵州贵阳人, 教授, 硕士生导师, 主要从事自动控制研究(E-mail: wyigz@126.com)

输出<sup>[2-3]</sup>。因此设计高效简单,价格低廉的 LED 驱动源成为当前一个研究热点。本文设计一种基于恒流二极管的小功率 LED 驱动电路,工频市电供电,输出电流恒定。

## 1 LED 连接方式

在设计 LED 照明系统时,需要考虑选用什么样的 LED 驱动器,以及 LED 的连接方式,只有合理的匹配设计,才能保证 LED 正常工作。小功率白光 LED 的正向电压范围一般为 2.8~4 V,工作电流为 15~20 mA。照明用的 LED 灯一般是多个这样的小功率 LED 通过串并联方式组合在一起的,这些 LED 通常需要匹配以产生均匀的亮度。另外还需要采用合理的方式将这些 LED 连接在一起,不能因为其中一颗 LED 灯珠损坏而导致整个 LED 灯组不能工作。

将多个同型号的 LED 串接在一起,流过每个 LED 的电流相等。LED 一致性较差时,虽然不同 LED 灯珠正向电压不同,但流过每个 LED 的电流相等,每个 LED 灯珠的亮度将会一致。LED 串联连接驱动源输出电压要求较大,电流必须恒定在 20 mA 以下。当其中一个 LED 因为品质不良断路后,将会导致整个 LED 灯组不亮,这对 LED 灯珠的品质和焊接工艺要求较高。

多个 LED 灯珠全部并联,需要驱动器输出较大的电流,输出电压在 3 V 左右。并联连接方式可以避免一个 LED 烧坏后整个灯组熄灭这一严重缺陷。由于 LED 发光强度与工作电流成正比关系,LED 灯珠之间参数存在一定差异,流过每个 LED 灯珠的电流不一致,直接导致 LED 发光亮度不均匀。采用恒流方式驱动并联 LED 时,LED 灯珠应尽量多的并联,防止因为其中几颗 LED 烧坏,致使流过其他 LED 的电流增加而烧坏。

为了提高可靠性、发光均匀性,提出了交叉阵列连接方式<sup>[4]</sup>,图 1 为 LED 交叉阵列连接方式图。从图中可以看出当其中个别 LED 短路或断路,也不会引起整个灯组熄灭。这种交叉阵列连接方式具有线路简单,亮度稳定,可靠性高,对驱动要求较低等特点。

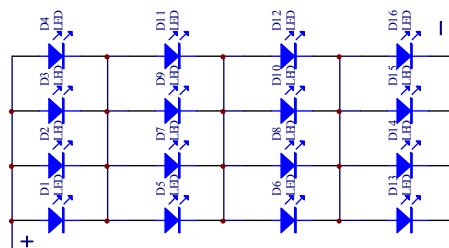


图 1 LED 灯珠交叉阵列连接方式图

Fig. 1 LED cross-connection diagram

## 2 小功率 LED 驱动电路设计

### 2.1 电容降压电路

LED 采用交流市电供电时,必须经过 AC/DC 以及 DC/DC 转换将高电压的交流电转换为低压直流电,目前降压电路主要有工频变压器线性降压电路,高频开关电路,基于 IC 的降压电路,电容降压电路等几类。考虑到驱动电源的体积与成本,本文采用电容式降压电路。图 2 为电容降压电路:

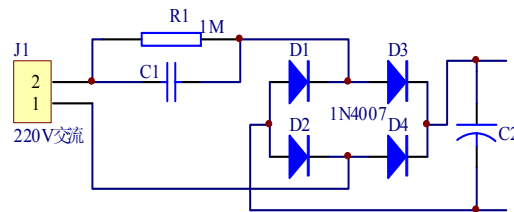


图 2 电容降压电路

Fig. 2 capacitor step-down circuit

图 2 中无极性降压电容  $C_1$  的充放电电流为  $I_C = 2\pi f C U_0$  ( $U_0$  为交流电压,  $f$  为交流频率),降压电容  $C_1$  向负载提供的电流  $I_0$  实际上就是流过  $C_1$  的充放电电流  $I_C$ 。当负载电流小于的充放电电流时,多余的电流就会流过滤波电容  $C_2$ <sup>[5]</sup>。若  $U_0 = 220$  V,  $f = 50$  Hz 则  $I_C = 69C$  ( $I_C$  的单位为 mA,  $C$  的单位为  $\mu\text{F}$ )。为了保证降压电容安全可靠工作,其耐压值应大于 2 倍市电电压,因此降压电容宜选用耐压值 630 V 的独石电容。 $R_1$  为 1 MΩ 放电电阻,当电路断电  $C_1$  通过  $R_1$  快速放电, $D_1$ — $D_4$  为 IN4007 组成的全波整流桥。为了获得较好的滤波效果,选择的滤波电容的容量应满足  $R_L C = (3 \sim 5) T / 2$  ( $R_L$  为负载电阻,  $T$  为 0.02 s),耐压值应大于  $1.1 \sqrt{2} U_0$  ( $U_0$  为电容降压电路输出电压)<sup>[6]</sup>。原则上,电容值取的越大,输出电压越平滑其纹波值越小。但是随着

电容容量的增大,一般其体积也随之增大,在考虑电路板面积的情况下,应尽量选择大容量的滤波电容。

## 2.2 市电供电的小功率 LED 驱动电路

基于恒流二极管的市电供电小功率 LED 驱动电路如图 3 所示:

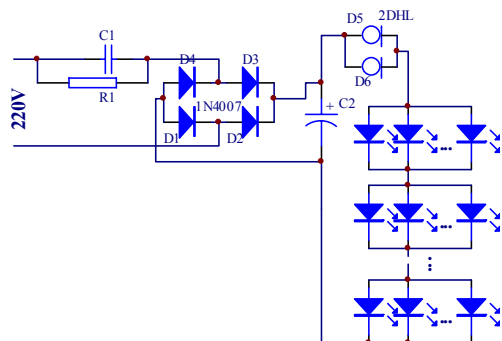


图 3 基于恒流二极管的小功率 LED 驱动电路

Fig. 3 The driver circuit of low-power LED base on current regulator diodes

图中 D5、D6 为恒流二极管,本设计采用的恒流二极管为贵州博越公司的 2DHL 系列。2DHL 系列恒电流二极管是一种硅材料制造的基础电子器件。正向恒电流导通,反向截止。输出的恒电流大,精度高,启动电压低。器件按极性接入电路回路中,即可达到恒流的效果,应用简单,实现了电路理论和电路设计中的二端恒流源。由于输出电流大,可以直接驱动负载,实现恒定电流电源。在 LED、半导体激光器、以及需要恒功率供电驱动的场所有广泛应用。具有启始电压低(3~3.5 V),恒流电压范围广(25~100 V),响应时间快( $t_r < 50 \text{ ns}$ ,  $t_f < 70 \text{ ns}$ ),负温度系数等优良特性。为了提供更大电流可以将多个恒流二极管并联使用,并联以后输出电流为各个恒流二极管标称电流之和。由于恒流二极管工作电压范围加大,因此即使负载 LED 短路也不会导致整个驱动电路烧毁,具有很强的电路保护功能。

小功率 LED 正向电压 2.8~3.2 V,最大工作电流为 20 mA。LED 亮度  $L$  与正向电流  $I_f$  成正比: $L = KI_f^m$  ( $K$  为比例系数)<sup>[6]</sup>,工作电流越大发光亮度越大,但由于 LED 也具有亮度和饱和特性,所以 LED 正向驱动电流应小于其标电流。小功率 LED 电流达 15 mA 以后,亮度以达到饱和,如果继续增大电流不仅不会提高亮度,还会使 LED 的 PN 温度

迅速升高导致光衰<sup>[7]</sup>。

C1 为降压电容,电容降压电路输出电流主要与降压电容容量和输出电压有关,输出电压越高电流越小。理论上驱动电路输出电压可以达 100 V 以上,但考虑到高电压下滤波电容 C2 的体积较大,不易于电路安装,本文设计的驱动电路主要使用 50 V 和 100 V 的滤波电容。虽然电容容值越大驱动电路输出电流越大,但降压电容值太大会降低整个驱动电路的安全特性与稳定性,因此建议降压电容的容值不要超过 3.3  $\mu\text{F}$ 。下表 1 给出了采用 0.68~3.3  $\mu\text{F}$  不同大小降压电容,驱动电路在不同电压下提供的电流以及能够驱动的最多 LED 数量。(此表中的数据为多次实验与仿真所得)

表 1 C1 容值与输出电流关系表

Table 1 C1 value and output current relationship table

C1 电容值 ( $\mu\text{F}$ )	输出电流 (mA)	最大输出电压 (mA)	驱动最大 LED 数 (颗)
1	60	45 (C2 为 470 $\mu\text{F}$ 50V)	4 (并)*15 (串)
	45	90 (C2 为 220 $\mu\text{F}$ 100V)	3 (并)*30 (串)
2.2	120	45 (C2 为 470 $\mu\text{F}$ 50V)	8 (并)*15 (串)
	100	93 (C2 为 220 $\mu\text{F}$ 100V)	7 (并)*31 (串)
3.3	180	45 (C2 为 470 $\mu\text{F}$ 50V)	12 (并)*15 (串)
	165	93 (C2 为 220 $\mu\text{F}$ 100V)	11 (并)*31 (串)

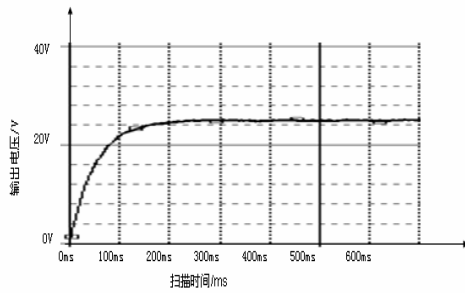
LED 采用交叉阵列方式连接,先将相同个数 LED 并联成组,再将各个组串联。采用交叉阵列方式,对 LED 灯珠一致性要求不高,并且不会因为其中一颗灯珠损毁而导致整个 LED 灯熄灭。由于目前 LED 白光频谱成分单一,柔和性较差,为了提高 LED 灯整体发光柔和度,应在白光 LED 灯中适当加入几颗黄光 LED 灯珠。

## 3 仿真与实验分析

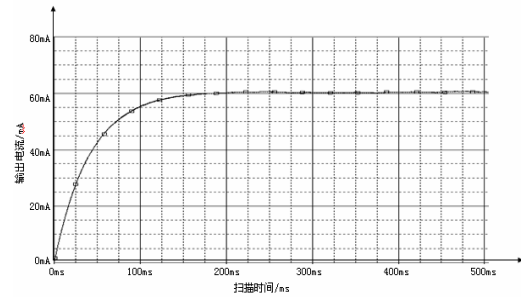
### 3.1 驱动电路的 Pspice 仿真

为了验证驱动电路的可行性,采用 pspice 电路仿真软件对电路进行了仿真,图 3 为瞬态分析时输出电压与电流波形。驱动电路中降压电容 C1 容量为 1  $\mu\text{F}$ ,滤波电容 C2 容量为 1000  $\mu\text{F}$ ,串联一颗 2DHL060 恒流二极管(恒定电流 60 mA),输出驱动 28 颗 0.06 W 白光 LED(采用 4\*7 交叉连接方式)。从图可以看出电路在 100 ms 时进入稳定状态,稳定后其输出电压为 25V 输出电流恒定为 60 mA。基本

验证了基于恒流二极管的小功率 LED 驱动电路的可行性。



(a) 输出电压波形



(b) 输出电流波形

图 4 驱动电路 Pspice 仿真结果

Fig. 4 Pspice simulation results of driving circuit

### 3.2 实验分析

为了进一步验证了基于恒流二极管的小功率 LED 驱动电路的可行性。制作了驱动 65 颗 (5\*15 方式连接) 0.06 W 白光 LED 的驱动源, 其中降压电容 C1 为 1.5  $\mu\text{F}$ , 滤波电容 C2 为 1000  $\mu\text{F}$ , 恒流二极管为两颗 2DHL040 并联, 并利用万用表对电流电压进行测量。实际测得输入电压在 196~248 V 范围内输出电流恒定为 80 mA, 相当于流过每个 LED 电流为 16 mA。在 219 V 输入电压条件下, 整个电路消耗的功率为 7.1 W, 则驱动源的功率因素为 0.47。图 5 为制作的小功率驱动源实物图。

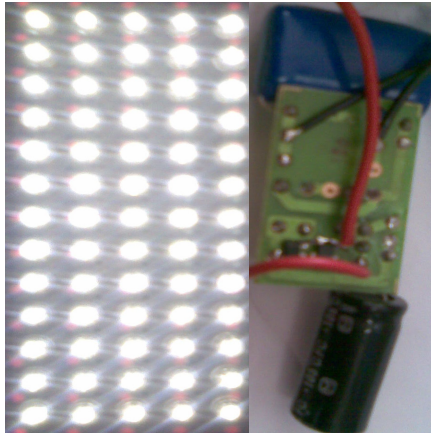


图 5 驱动源实物图

Fig. 5 drive power's physical map

## 4 总结

本文设计的基于恒流二极管小功率 LED 驱动电路结构简单、成本低廉、满足 LED 恒流驱动的要求, 经过多次实验验证本驱动电路可靠性很高。通过改变降压电容可适合用作多种 LED 灯具电源。

虽然驱动电路功率因素较低, 但特别适合低端照明市场应用。LED 相比传统光源发光效率高, 小功率 LED 灯发光亮度即可与大功率的日光灯媲美, 因此采用本驱动源的 LED 灯整体上是节能的。

**主要创新点:** 在传统电容降压驱动电路基础上引入了恒流二极管, 保证了驱动源低压恒流输出。负载小功率 LED 采用交叉阵列方式连接, 降低了灭灯率。

### 参考文献:

- [1] 王占庆, 毛兴武. 交流电源供电的大电流 LED 驱动电路[J].中国照明电器,2006 (5): 4-7.
- [2] 肖永军, 周传璘, 曾庆栋. LED 景观照明灯驱动电路设计[J].低压电器, 2009(10):28-31.
- [3] 范俊杰, 宁凡. LED 驱动电源的现状与展望[J].中国科技信息, 2009 (8): 137-139.
- [4] 周志敏, 周纪海, 纪爱华.LED 照明技术与应用电路[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009:90-93.
- [5] 马存云.几款市电供电的低成本 LED 驱动电路[J].光源与照明,2007 (4) :19-21.
- [6] Wing Yan Leung ,Tsz Yin Man ,Mansun Chan. A high-power-LED driver with power-efficient LED-current sensing circuit[J].Solid-State Circuits Conference,2008 (34).
- [7] Chang Liang-Cheng, Lee Da-Sheng, Chen Ping-Hei. A novel led driving circuits development for decorative lighting system energy saving[J].Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference, 2009(4).