

一种线性恒流的 LED 驱动电路设计

钟龙平, 马智杰, 徐欣歌, 陈文芾

(厦门大学 物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 随着人们对照明设备节能环保和耐用低价的要求逐步提高, LED 光源的研究与应用也日趋广泛。然而 LED 光源并没有得到普遍应用, 主要难题是成本高和驱动电路的不稳定。针对此问题, 在研究 LED 特性的基础上提出了高稳定性和低成本的 LED 线性恒流驱动电路, 且具有结构简单、效率高、体积小等特点。通过模拟电网的波动, 测试了此电路在实际电网中的恒流特性, 还测试了此电路的效率和 LED 的结温, 经实际电路测试, 此驱动电路能很好地实现恒流控制, 电路效率较高, 且 LED 的结温较低, 使 LED 的控制特性得到改善。

关键词: 节能环保; LED 光源; 恒流驱动; 效率

中图分类号: TM923.02

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2011)02-0116-03

A linear constant current LED driver circuit

ZHONG Long-ping, MA Zhi-jie, XU Xin-ge, CHEN Wen-xiang

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: With increasing demands in energy-saving, durable and low-cost lighting equipments, the research and application on LED light source is becoming widely spread. However, due to high costs and instability of its driver, LED source light has not been universally applied. Based on studying in LED characteristics, this article designed a linear constant current LED driver circuit of high stability and low-cost and so on. It has the characteristics of simple structure, high efficiency, little size. It is tested that this driver circuit can realize well control of constant current. The efficiency of this circuit is more higher, and the temperature of LED junction is more lower. In short, the LED control characteristic gets improvement.

Key words: energy saving; LED light source; constant current drive; efficiency

LED 是冷光源, 工作电压低、光效高, 被认为是 21 世纪照明的新光源^[1]。然而, 目前 LED 照明设备没有得到普及应用的关键问题有两个, 一是价格偏高; 二是控制电路不稳定导致 LED 寿命大大降低。据统计, 目前 LED 白光照明灯具出现的失效故障, 70% 左右是电源问题, 20% 左右是线路和结构问题, 只有不到 10% 是 LED 单管的本身质量问题, 所以电源管理方案的选择对于节能而言也举足轻重, 这就要求在驱动电路设计中选择最合适的 AC-DC 驱动器^[2]。因此可靠、低成本的控制电路是 LED 照明推广普及的前提。

由 LED 的电学特性可知, LED 的平均正向电流随着正向电压的增大呈现大幅度的线性增长, LED 在正向导通后其正向电压的细小变动将引起 LED 电流的很大变化^[3], 且电流对 LED 结温影响很大, 过大的电流很容易导致 LED 灯珠结温升高而损坏。此外, 由 LED 的光学特性可知随着正向电流的增加, LED 光通量随之增大, 即亮度增加。因此为了保持 LED 发光亮度的恒定, 就要保证 LED 正向电流的稳定。因此设计合理的驱动电源对于 LED 照明灯具就显得十分重要。

本文提出了一种 LED 线性恒流驱动电路, 该电路具有成

本低、结构简单、效率高、体积小等特点, 很适合做室内照明 LED 灯具(如 LED 日光灯)的驱动电源。

1 LED 线性恒流驱动电路

LED 灯在使用时需要多颗灯珠串联或者并联起来才能工作, 采用并联方式驱动多只 LED 虽然所需的电压较低, 但由于每只 LED 的正向压降不同, 使得每只 LED 的亮度不同, 除非采用单独的调节的方式来保证每只 LED 有相同的亮度^[4]。所以并联方式要保证亮度均匀一致, 实现起来比较复杂。而采用串联方式能够保证流过每只 LED 的电流相同, 亮度一致, 是目前常用的结构。

当采用串联型的驱动方式时, 如果其中一个或几个 LED 发生故障而断路(短路对电路影响较小可忽略), 会使电路发生断路而不能正常工作。为了避免此缺陷, 可在每个 LED 两端反向并联一个稳压管(如图 1 所示), 当某个 LED 灯珠发生断路时, 其并联的稳压管投入工作, 保证了串联灯珠电流不变。要注意的是, 稳压管的稳压值要比 LED 的导通电压要高, 否则并联的稳压管会分流掉一部分电流而使 LED 将变暗甚至不亮。

收稿日期: 2010-08-04

稿件编号: 201008013

作者简介: 钟龙平(1985—), 男, 福建龙岩人, 硕士研究生。研究方向: 电子技术研究及嵌入式系统应用。

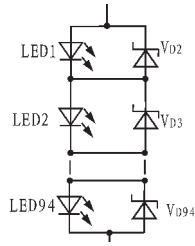


图1 LED串联驱动电路

Fig.1 LED drive circuit with series

本文采用串联驱动方式,其LED线性恒流控制电路如图2所示。

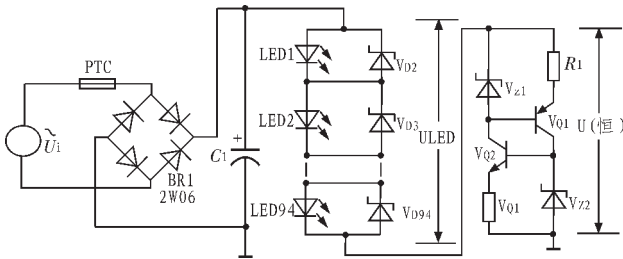


图2 LED恒流控制电路

Fig.2 LED constant-current control circuit

图中, V_{Z1} 、 V_{Z2} 、 V_{Q1} 、 V_{Q2} 、 R_1 、 R_2 构成线性恒流源, 它保证了流过每只白光 LED 的电流相同, 得到均匀的亮度。LED 驱动电源采用市电直接整流滤波, 得到控制 LED 的直流工作电压, 无需升压或降压处理, 故电源驱动电路简洁, 且电源效率高。所使用的 LED 是高亮度的白光 LED (工作电压范围为: 3.0~3.2 V), 利用 94 个 LED 灯珠组成 LED 日光灯。

下面, 进行线性恒流源电路的工作原理分析, 电路采用互补型两端恒流源结构, 如图 3 所示。

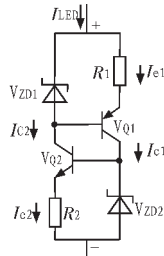


图3 互补型两端恒流源电路

Fig.3 Complementary constant current source circuit with two terminals

晶体管 V_{Q1} 、稳压管 V_{Z1} 和 R_1 构成一个恒流源, 此恒流源给稳压管 V_{Z2} 提供稳定的工作电流, 而晶体管 V_{Q2} 、稳压管 V_{Z2} 和 R_2 构成另一个恒流源共给稳压管 V_{Z1} 稳定的工作电流。由于两个恒流源互相稳定对方的稳压管工作点, 使稳定电压 V_{Z1} 和 V_{Z2} 以及流过该恒流单元的总电流均不再变化^[5], 因此可以保证流过 LED 的工作电流的恒定。

图中各电流与电压之间关系如下:

$$I_{c1} \approx I_{e1} = \frac{U_{Z1} - U_{be1}}{R_1}$$

$$I_{c2} \approx I_{e2} = \frac{U_{Z2} - U_{be2}}{R_2}$$

流经 LED 的工作总电流 I_{LED} 为:

$$I_{LED} = I_{c1} + I_{c2} = \frac{U_{Z1} - U_{be1}}{R_1} + \frac{U_{Z2} - U_{be2}}{R_2} \quad (1)$$

我们采用的 LED 灯珠是 0.06 W 的 LED, 工作电流为 20 mA, 为了设计方便, 选用的电路元器件是完全对称的, 参数分别为:

$$R_1 = R_2 = R = 130 \Omega, U_{Z1} = U_{Z2} = U_Z = 2 \text{ V}, U_{be1} = U_{be2} = U_{be} = 0.7 \text{ V},$$

$$\text{将以上参数代入(1)式可得: } I_{LED} = \frac{2(U_{Z1} - U_{be1})}{R} = 20 \text{ mA}$$

恒流源电路提供工作电流为 20 mA, 满足所用灯珠要求。

2 测试实验结果及分析

测试接线如图 2 所示, 通过调节自耦变压器改变电压以模拟电网电压的变化。通过模拟电网电压的波动, 测试此恒流控制电路在实际电网中的工作特性, 观察 LED 的工作电流是否会随着外部电压的波动而发生大的波动, 并对此电路在不同电压下的效率和 LED 的结温进行了实际的测试。

2.1 LED 正向电流随输入电压变化的特性

图 4 是 LED 灯珠串工作电流与电源电压关系曲线。

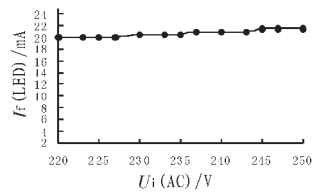


图4 电源电压与 LED 电流的关系曲线

Fig.4 Supply voltage-LED current curve

当电源电压 U_i 从 220 V 增大到 250 V 时, 整流后的直流电压由 310 V 变为 350 V, 而 LED 灯珠串的工作电流 I_i 从 20 mA 变化到 21.5 mA, 只变化了 1.5 mA。因此可以看出, 电路有很好的恒流效果, 保证了 LED 日光灯亮度的基本稳定。

2.2 输入电压变化对驱动电路参数的影响

图 5、图 6 是随着输入电压变化, 加在 LED 工作电路上的直流电压与加在 LED 灯珠串上的电压及恒流源承担电压的变化情况。从图 5、图 6 可以看到, 输入电压经整流后, 形成

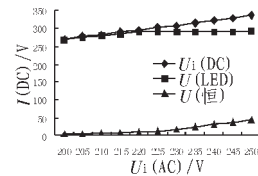


图5 输入电压 U_i (AC)变化对电路的影响

Fig.5 Impact of changes in input voltage on circuit

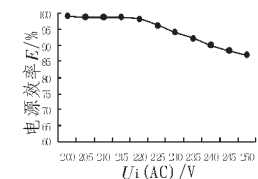


图6 输入电压 U_i (AC)变化与电源效率的关系

Fig.6 Relationship between changes in input voltage and power efficiency

的直流电压由LED灯珠串与线性恒流源分压,LED灯珠串上的分压越多,表明输入电压的效率越高,因此通过图6的分析,可看出本LED驱动电路的电源效率较高。

从图5可以看出,当电源输入电压在200~220V区间时,通过整流滤波后的直流电压 U_i (DC)大部分都加载在LED的两端,而恒流控制电路分压较小;从图6也可以看出电源输入电压小于或等于220V,电源效率较高,220V时可达到98.31%。

当电源输入电压 U_i (AC)高于220V时,随着输入电压增加,LED两端的电压 $U(\text{led})$ 基本不变(291V左右),输入电压增加的部分基本上由恒流控制电路的电压 $U(\text{恒})$ 承担,这保证了单个LED的正向电压基本不变(3.1V),处于恒功率工作状态,电流及发光量维持了稳定。

2.3 输入电压变化对LED结温的影响

LED的光衰与结温有很大关系,当结温升高时正向电压下降,结电压下降导致电流增大,增大的电流反过来又引起结电压下降,形成一个恶性循环。结温是光衰的一个重要原因,结温越高越早出现光衰,寿命越短。因此结温的变化也是考察一个驱动电路的重要指标,这里采用了文献[6]的方法测量结温:

$$T_{j(\text{LED})} = T_0 + \frac{V_T - V_0}{K} \quad (2)$$

其中, $T_{j(\text{LED})}$ 是LED结温, T_0 是测试的环境温度(20℃), V_0 是LED的初始正向电压, V_T 是LED的热平衡后的正向电压(1小时后测定), K 是LED的温度系数(-2mV/℃),具体测量是改变输入电压,在不同输入电压下,先让LED灯充分冷却,测量LED两端总电压,该电压为 $U(\text{led初})$,过1个小时,在相同输入电压的条件下再次测量LED总电压,该电压为 $U(\text{led末})$,将 $U(\text{led初})$ 除总LED个数即可得到单个LED的初始正向电压 V_T ,将 $U(\text{led末})$ 除总LED个数即可得到单个LED的热平衡后的正向电压 V_0 ,带入公式(2)求得LED的结温,实验结果如图7、图8所示。

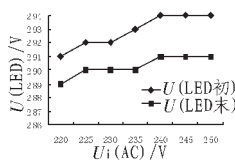


图7 不同输入电压下LED电压变化

Fig.7 LED voltage changes under different input voltage

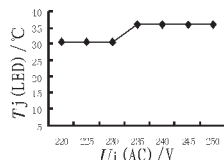


图8 不同输入电压下LED结温的变化

Fig.8 LED junction temperature changes under different input voltage

从图7、图8可以看出,电源输入电压 U_i (AC)不同,但LED两端的电压基本保持不变,过一个小时其电压变化量也很小,且在这个时间段内结温低,单个LED的结温基本不变或微小变化,所以此恒流源控制电路能保证LED的结温基本稳定且较小,可以减少光衰,有效提高LED日光灯的使用寿命。

3 结论

本文给出的电路结构简单可靠,创新之处在于把互补恒流电路应用LED的恒流驱动电路中,实验结果表明,该电路在输入200~250V变化的情况下,驱动电流变化仅为1.5mA,LED结温低于37℃。这是影响LED灯珠工作最突出的两个关键参数,表明该电路能够为LED^[7]提供一个良好的工作条件。此外,实验结果表明该电路在正常市电供电情况下(220V)有很高的电源效率。该电路已用在1.2mLED日光灯管上,使用效果良好,在设计过程中应该注意根据具体电路的工作电流来进行电路参数的匹配。

参考文献:

- [1] 易安. 半导体照明21世纪的节能新光源[J]. 中国创业投资与高科技, 2004(8):28-30.
YI An. Semiconductor lighting new energy-saving light sources in 21st century [J]. China's Venture Capital and High Technology, 2004 (8):28-30.
- [2] 半导体照明产业发展须关注一个重点[J]. 电源世界, 2009(10):8.
A focus of concern on semiconductor lighting industry [J]. The power in the world, 2009 (10):8.
- [3] 冯勇, 杨旭. 白光LED可控恒流源驱动系统设计[J]. 电气开关. 2008(4):29-31.
FENG Yong, YANG Xu. The design of the white LED constant current power system control [J]. Electrical switch, 2008 (4):29-31.
- [4] 冯玮. 白光LED驱动技术[J]. 现代显示, 2008(83):39-42.
FENG Wei. The technology of the white LED driver [J]. Modern display, 2008 (83):39-42.
- [5] 陈凯良, 竺树声. 恒流源及其应用电路[M]. 浙江: 浙江科学技术出版社, 1992.
- [6] Xi Y, Schubert E F. Junction-temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diode forward voltage method [J]. Applied Physics Letters, 2004, 85(12):2163-2165.
- [7] 毛敏. 基于Protues的16×32点阵LED汉字显示屏的开发[J]. 工业仪表与自动化装置, 2010(5):96-98.
MAO Min. 16×32 LED display characters based on Protues [J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2010(5):96-98.