

可单组调光的 1W LED 阵列驱动设计

刘 琦, 秦会斌*, 张振银

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对采用恒压方式驱动多路大功率 LED 容易损坏芯片的问题,将单个恒压源供多个恒流源的技术应用到 LED 驱动中。恒压源采用 MAX668 作为 Boost 拓扑电路的控制器,实现了恒压输出。采用了 NE555 构成的自激多谐振振荡电路,产生固定频率且占空比可调的脉宽调制(PWM)信号,实现了单组调光。恒流源采用 MAX16803 和 SN3350 分别作为可调恒流源的控制芯片,实现了恒流输出。研究表明,该研究为进一步进行高效率可单组调光的大功率 LED 阵列驱动的设计打下了基础。

关键词:大功率 LED;恒压源;恒流源;脉宽调制调光

中图分类号:TN6;TN7

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)08-0991-05

Design of 1W LED drive array with single – group dimmer

LIU Qi, QIN Hui-bin, ZHANG Zhen-yin

(School of Electronic and Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problem that the multiple LED driver of constant voltage easily damage chips, the LED driver of multiple constant current source supplied by a single voltage source supply was proposed. The efficiency of the dimming circuit of the two constant current sources was improved. In order to achieve constant output, Maxim's MAX668, based on the controller of the Boost topology, was adopted by the constant voltage source. The multi-resonant self-excited oscillator consisted by NE555 was used to generate a fixed frequency and produce adjustable duty cycle pulse width modulation(PWM) output. Maxim's MAX16803 and SI-EN's SN3350 were respectively used as the constant current sources. When loading the PWM input, single dimming was achieved and constant current output was attained. The results show that this research paves the way for the further production of high-efficiency and high-power LED driver array with single dimmer.

Key words: high-power LED; constant voltage source; constant current source; pulse width modulation(PWM) dimming

0 引 言

大功率 LED 以其使用寿命长、节能、发光效率高、响应快、环保等显著优点,近年来被广泛应用于背光源、汽车电子、普通照明等领域。大功率 LED 被视为可取代白炽灯、荧光灯等传统光源的第四代光源,这使得设计大功率 LED 照明电路显得十分有必要。目前不少 LED 驱动厂家使用恒压方式驱动大功率 LED。这种方式不能确保并联的每颗大功率 LED 的电流相同,且容易使大功率 LED 的半导体芯片烧坏。

针对现有驱动电路的缺点,本研究在分析大功率

LED 使用恒流驱动必要性的基础上,采用单个恒压源供多个恒流源的 LED 驱动方式,以实现恒流驱动大功率 LED 和单组调光^[1-2]。

1 大功率 LED 的电气特性

大功率 LED 属于低电压、大电流功率器件,目前正朝着大电流、高发光效率、亮度可调的方向发展。本研究选定其中一种大功率 LED 做电气特性分析。1W LED 的正向 I-V 特性曲线如图 1 所示。由图 1 可知,LED 超过某个值后,正向电流近似与正向电压成正比;正向电流变化速度比正向电压的变化速度更快。如果 LED 正向电流从额定工作值(350 mA)减小到

收稿日期:2010-11-16

作者简介:刘 琦(1982-),男,重庆人,主要从事新型电子器件设计与应用方面的研究. E-mail: vavbvc606909@sina.com

通信联系人:秦会斌,男,教授,博士生导师. E-mail: qhb@hdu.edu.cn

315 mA (10%), 正向电压只减小 45 mV (约 1.2%); 若 LED 正向电流从 350 mA 增大到 385 mA, 正向电压只增大 43.7 mV (约 1.2%), 由此可见, 外加工作电压的微小变化将引起 LED 工作电流较大的变化, 从而引起亮度的较大变化, 这是大功率 LED 必须恒流驱动的主要原因^[3-4]。

大功率 LED 相对发光强度随正向工作电流的变化情况如图 2 所示。由图可知, 在 LED 工作电流变化很大的范围内 (0 mA ~ 400 mA), 其相对发光强度近似与工作电流成线性关系; 当工作电流继续增大, 相对发光强度增大的速度逐渐减小, 最终趋于饱和。正向工作电流的提高会导致 LED 温度升高, 进而导致 LED 发光强度和寿命的下降, 这也是大功率 LED 必须采用恒流驱动的重要原因^[5]。

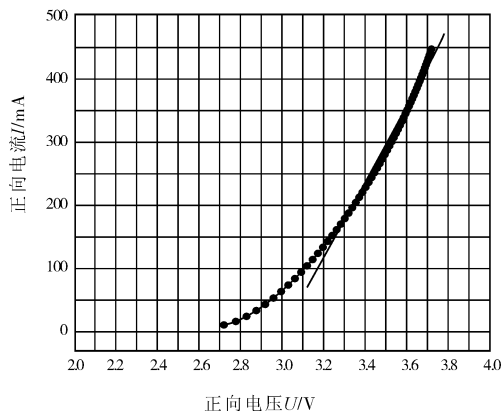


图 1 1W LED 的正向 I-V 特性曲线

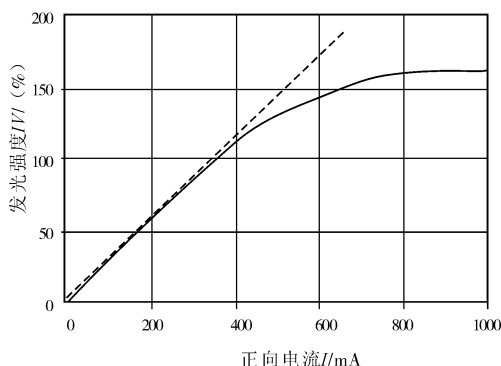


图 2 1W LED 相对发光强度随正向工作电流的变化曲线

2 LED 的调光方式

许多 LED 应用都需要进行亮度调节, 在 LED 背光、照明等应用中, 调光功能可提供亮度调节和对比度调节。LED 实现调光功能的方法可分为两种: 模拟调光和 PWM 调光。在采用模拟调光的技术时, 通过向 LED 施加 50% 的最大电流可实现 50% 的亮度。这种技术的缺点是: 随着正向电流的改变, LED 光源会产

生色偏现象, 并且 LED 驱动器始终处于工作模式, 效率低, 因此模拟调光使用率较低。PWM 调光是通过开启和关闭 LED 的方式改变正向电流导通时间, 以达到亮度调整的效果。在 50% 占空比时, 施加满电流可达到 50% 的亮度。因而这种技术的优势是 LED 正向导通的电流一直是恒定的, PWM 调光可以精确控制 LED 的亮度, 同时也保证 LED 光源的色度恒定^[6-7]。

LED 平均电流与调光波形的占空比成正比, 可由下面的公式得出:

$$I_{DIM-LED} = D_{DIM} \times I_{LED} \tag{1}$$

式中: $I_{DIM-LED}$ —LED 平均电流, D_{DIM} —调光波形的占空比, I_{LED} —LED 额定电流值^[8]。

单组调光是对系统的每一路 LED 串都能独立的进行调光, 使系统中各路 LED 能按照实际情况提供符合要求的发光强度。相比整体调光, 单组调光进一步减小了 LED 发热量, 延长了 LED 预期寿命, 降低了能耗。

3 大功率 LED 驱动电路设计

多路恒流输出供电方式在成本和性能方面都有很大的发展空间, 是今后发展的主流方向^[9]。本研究采用单个恒压源供多个恒流源的 LED 驱动方式, 每个恒流源单独给每路 LED 供电, 系统结构图如图 3 所示。这种方式组合灵活, 若一路 LED 故障, 不影响其他 LED 的工作。当恒压源中的各项参数确定以后, 输出的电压是固定的, 而输出的电流是随着负载的增减而变化; 恒流源输出的电流是恒定的, 通过单路上的每个 LED 的电流相同, 保证了 LED 发光亮度的一致性。

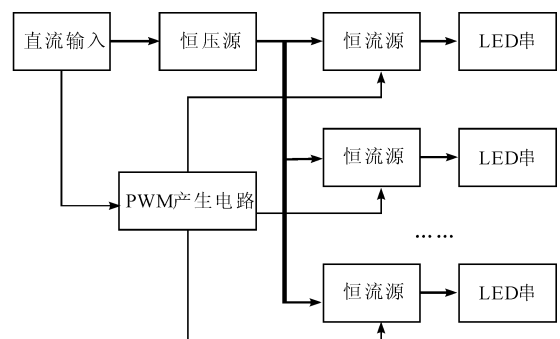


图 3 系统结构图

3.1 恒压源

恒压源使用的 IC 中设计时选用 μ MAX 封装的 MAX668。MAX668 是美信公司生产的一款固定频率的电流模式 PWM 控制器, 具有 100 kHz ~ 500 kHz 可调节的开关频率、外同步运行等特点。^[10]

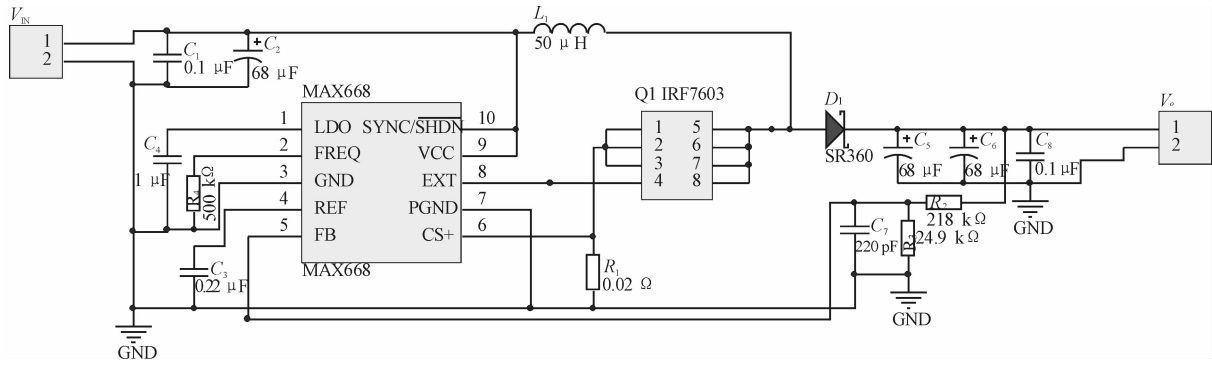


图 4 恒压源电路

恒压源电路如图 4 所示。该电路在直流电源电压 1.8 V ~ 28 V 范围内,功率处理能力可以达到 50 W,同时具有电路简单和较高的电源效率的优点,满足设计要求。本研究电路的工作频率采用 100 Hz,由电阻 R_4 决定。电感采用工型铁氧体磁芯电感,电感绕组导线采用 6 股直径为 0.28 mm 的漆包线 C 型绕制方式,以减少电感绕组的铜损和电感磁芯的铁损。开关管 IRF7603 具有栅极电荷小和导通电阻较小的特性,可有效降低开关管的导通损耗。输出电解电容采用低 ESR 的铝电解电容,可降低电路损耗。

输出电压 V_o 为:

$$V_o = \frac{R_2 + R_3}{R_3} V_{REF} \quad (2)$$

式中: $V_{REF} = 1.25 \text{ V}$ 。

电路工作时,控制器 MAX668 控制开关管 IRF7603 的导通和截止。当开关管导通时,电感 L_1 储存能量,输出电容给负载供电;当开关管截止时,电源

和电感共同给负载供电,同时对输出电容充电。电路通过内环电流反馈和外环电压反馈,实现恒压输出。

3.2 PWM 产生电路

555 定时器是一种模拟和数字功能相结合的中等规模集成器件。由 NE555 构成的自激多谐振荡器电路如图 5 所示。该电路具有产生固定频率的 PWM 输出和占空比连续可调等优点。在 NE555 的第 6 脚和第 7 脚之间接有 R_1 、 R_2 、 R_3 、 D_1 和 D_2 组成的调节网络。电路通过 R_1 、 R_3 和 D_1 对电容 C_1 和 C_2 充电,电容电压将升至内部参考电压高电平,此过程中输出电压为高电平;当电容电压为内部参考电压高电平时,电容 C_1 和 C_2 将通过 D_2 、 R_2 和 R_3 网络放电,电容电压降低至内部参考电压低电平,此过程中输出电压为低电平,以后便周期重复对电容 C_1 和 C_2 充电和放电。当 $R_1 = R_2$ 、 R_3 调到中心点时,因电容充放电时间基本相等,其占空比为 50%,满足对恒流源的 PWM 输入。

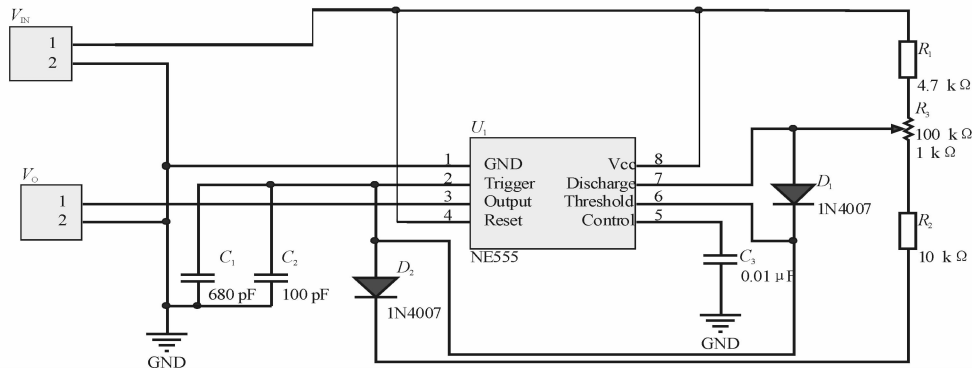


图 5 PWM 产生电路

3.3 基于 MAX16803 的恒流源

美信公司生产的可调恒流源 MAX16803 输入电压为 6.5 V ~ 40 V,可有效避免甩负载和冷启动等大瞬态的危害^[11]。基于 MAX16803 的恒流源如图 6 所示。

该电路可提供 350 mA(精度为 $\pm 3.5\%$) 的电流来驱动大功率 LED,使照明组件实现均匀的亮度,并且可以在 DIM 引脚利用 PWM 的调光技术进行亮度调节。

图 6 中,电路输入电容 C_1 和输出电容 C_2 选用低

ESR 的陶瓷电容,以平滑恒压源输入和恒流源输出的电流纹波。电路还使用了负温度系数(NTC)热敏电阻 RT ,有效地检测及控制 LED 温度,保证 LED 可靠工作,体现了 LED 的长寿命和低维护成本的优势。随着温度的升高,在 R_2 的压降增加导致 LED 电流减少,其

公式为:

$$I_{LED} = \frac{V_{SENSE} - \left[\frac{R_2}{R_2 + RT} \right] \times V_5}{R_1} \quad (3)$$

式中: $V_5 = 5 \text{ V}$, V_{SENSE} 为 CS+ 端电压。

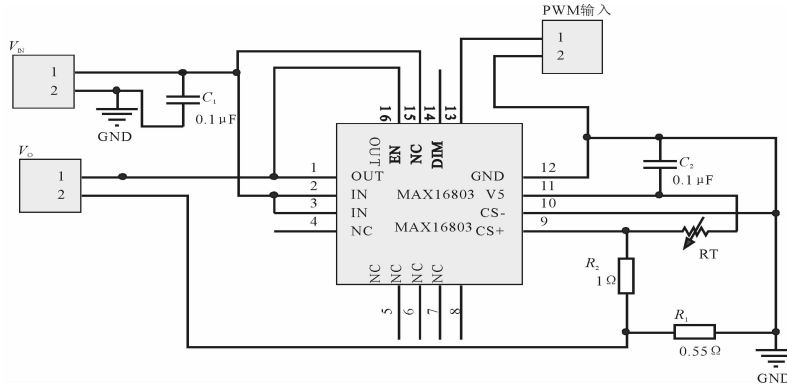


图 6 基于 MAX16803 的恒流源

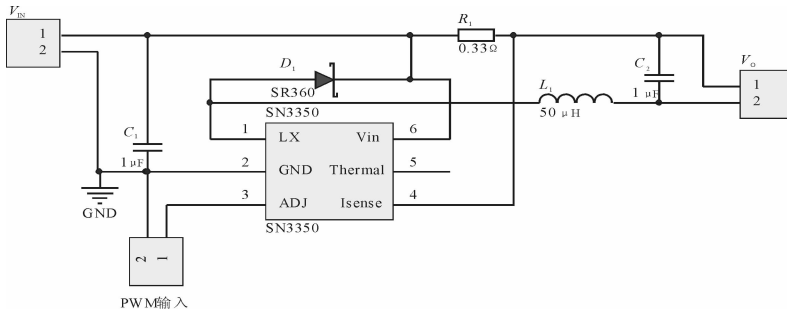


图 7 基于 SN3350 的恒流源

该电路工作时,在 R_1 两端产生的电压通过 CS+、CS- 脚输入到内部差分电流检测放大器,其输出电压正比于 I_{LED} ;此电压输入到内部误差放大器反向端,其同向端接入基准电压,误差放大器的输出电压经内部升压式 MOSFET 驱动器来驱动内部调整管,使有一定的 V_{GS} ,维持相应的 I_{LED} 。这个反馈控制回路保证负载电流 I_{LED} 基本不变,实现了恒流驱动 LED。

3.4 基于 SN3350 的恒流源

矽恩公司生产的 SN3350 是一款 DC/DC 高效率 LED 恒流芯片,输入电压为 $6 \text{ V} \sim 40 \text{ V}$,固有 LED 开路保护、过热保护功能^[12]。基于 SN3350 的恒流源如图 7 所示。该电路可提供 330 mA (精度为 $\pm 5\%$)的电流来驱动大功率 LED,使照明组件实现均匀的亮度,并且可以在 ADJ 引脚利用 PWM 的调光技术进行亮度调节。

电路输入去耦电容 C_1 和 C_2 选用低 ESR 的陶瓷电容,为电感提供大的峰值电流和平滑恒压源输入的电流纹波。本研究使用较大的电感 L_1 ,减小了由于内部开关管延时造成的纹波增加和效率降低等问题。整流二极管 D_1 选用低寄生容抗肖特基二极管,能达到最高的效率。

电路工作的时候,通过 R_1 端的高位电流检测的电压作用于芯片内部集成功率管,维持相应的 I_{LED} 。这个反馈控制回路保证负载电流 I_{LED} 基本不变,实现了恒流驱动 LED。

4 实验结果

4.1 恒压源的效率测试

本研究采用稳压电源和数字万用表,对 MAX668 恒压源的输出效率进行测试,其结果如表 1 所示。

表 1 不同输入下恒压源输出效率

输入电 压 U/V	输入电 流 I/A	输出电 压 U/V	输出电 流 I/A	输出效 率 $\eta/\%$
4.9	1.06	12	0.35	80.61
6.9	1.96	16	0.7	83.01
12	2.05	21.2	1.05	90.19
13.7	2.09	24	1.05	87.85

从表 1 可以看出,恒压源效率较高,在试验中效率达到 90.19% ,其效率最高能达到 94% 。但是电路的开关管为硬开关,开关损耗较大;可采用软开关技术,

实现开关管零电压关断,从而彻底消除开关损耗,进一步提高恒压源的效率。

4.2 恒流源的测试

采用恒压源、示波器和数字万用表,对两款恒流源的输出效率进行测试,其结果如表2所示。

表2 不同输入下,单路恒流源输出效率的测试

电路	MAX16803 恒流源			SN3350 恒流源		
输入电压 U/V	输入电流 I/A	输出电流 I/A	效率 η / (%)	输入电流 I/A	输出电流 I/A	效率 η / (%)
12	0.34	0.318	89.41	0.34	0.319	89.61
16	0.32	0.293	88.87	0.32	0.293	88.89
21.2	0.34	0.319	91.63	0.34	0.319	91.99
24	0.34	0.322	92.87	0.34	0.323	93.56

从表2可以看出,MAX16803恒流源在试验中效率达到93%,随着输入电压的升高,其效率最高为96%;SN3350恒流源在试验中效率达到94%,随着输入电压的升高,其最高效率高达97%。

4.3 调光的测试

本研究通过示波器分别采样调光下恒流源MAX16803的OUT端口和恒流源SN3350的L1右端的波形,分别如图8、图9所示。

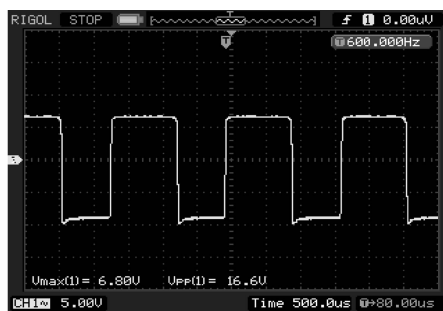


图8 MAX16803在50%占空比下输出端的波形

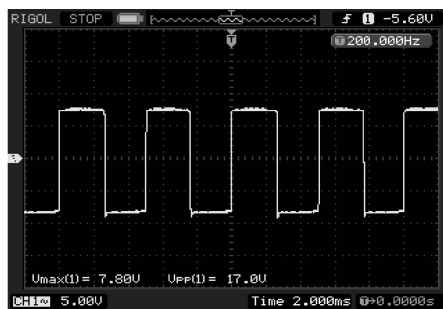


图9 SN3350在50%占空比下输出端的波形

从图8和图9中可看出,方波两端电压上升沿和下降沿持续时间相等,波形平滑,无毛刺,谐波含量比较低,恒流源驱动损耗较小。两款恒流源稳定调控1W LED的亮度,确保在调光范围内1W LED灯光的明暗变化稳定,不会出现闪烁情况,电路无噪声,在测

试中无明显区别。

通过上述实验结果可得,MAX16803恒流源效率较低些,SN3350恒流源效率较高,两款恒流源都实现了恒流驱动LED和单组调光。两款恒流源单路可以实现驱动最多10颗1W的LED串联,同时外围电路简单,IC封装体积小,可以将恒流驱动和LED负载整合在一块铝基板上,实现驱动、散热一体化的模组方案。

5 结束语

本研究采用一个恒压源供多个恒流源的LED驱动方式,首先设计了一个可提供固定电压输出的恒压源,然后分别采用MAX16803和SN3350作为恒流源的驱动IC,研究了恒压源的效率问题和恒流源在不同占空比调光信号下电路输出端的波形变化,对比了两款恒流源的实际应用效率。研究结果为今后研制更高效、可单组调光、大功率LED阵列驱动打下了基础。

参考文献(References):

- [1] 周志敏,周纪海,纪爱华. LED驱动电路设计与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.
- [2] 范俊杰,宁凡. LED驱动电源的现状与展望[J]. 中国科技信息,2009(15):137-139.
- [3] HARBERS G, BIERHUIZEN S J, KRAMES M R. Performance of high power light emitting diodes in display illumination applications[J]. *Journal of Display Technology*, 2007,3(2):98-109.
- [4] LOO K H. On the driving techniques for high-brightness LEDs:toward a generalized methodology[J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2009,2A(12):2059-2064.
- [5] 毛兴武,张艳雯,周建军,等. 新一代绿色光源LED及其应用技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [6] SVILAINIS L. LED PWM dimming linearity investigation [J]. *Displays*, 2008,29(3):243-249.
- [7] 程安宁,王晋,尚相荣. 白光LED的PWM驱动方式分析[J]. *电子设计工程*,2010,18(2):137-139.
- [8] 周志敏,纪爱华. 白光LED驱动电路设计与应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:72.
- [9] 杨恒. LED照明驱动器设计[M]. 北京:中国电力出版社. 2010:32-33.
- [10] MAXIM Corporation. MAX668/MAX669 [EB/OL]. [2002-01-02]. <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX668-MAX669.pdf>.
- [11] MAXIM Corporation. MAX16803 [EB/OL]. [2006-04-09]. <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX16803.pdf>.
- [12] SI-EN Technology. SN3350 [EB/OL]. [2009-03-01]. <http://www.si-en.com/uploadpdf/SN335020105269549.pdf>.

[编辑:张翔]