

文章编号:1673-9981(2019)02-0122-06

一种单电感有源均流 LED 驱动电路的分析与设计^{*}

许平,夏智锋,张志清,古志良,张强,洪宇

广东省半导体产业技术研究院,广东 广州 510006

摘要:为实现多基色 LED 光源的自稳定 and 智能调光,提出一种基于有源均流技术的单电感多路输出 LED 驱动电路.与现有均流方法相比,该驱动电路只使用一个磁性元件,可扩展驱动任意通道的 LED 负载,而且智能化调节程度高.本文对该驱动的均流原理和控制方法进行了分析,并通过 PSIM 仿真软件和实测结果验证了电路性能,该驱动电路可实现多基色 LED 光源的自稳定智能调光.

关键词:多基色 LED;智能调光;单电感;LED 驱动电路

中图分类号:TM461

文献标识码:A



发光二极管(LED)光源具有传统 LED 寿命长、体积小的优点,而且调光效果好,在照明领域的应用越来越广泛^[1-2].但目前该光源的功率仍较低,通常需要将多颗 LED 串并联连接以获得足够的发光强度.因此,实现多基色 LED 光源的自稳定和智能化调节是一项重要的研究工作.

现有研究中,主要采用均流方法来实现各通道 LED 的稳定发光,包括无源均流方法^[3]和有源均流方法^[4].无源均流方法主要利用电容、电感等无源元件使相邻两通道之间的电流达到均衡效果,但是只能对所有通道统一调光,难以实现智能化调光^[5-7].有源均流方法可独立控制每个通道电流,且调光精度较高.有研究人员^[8-9]提出了几种不同的单开关多路 LED 均流驱动电路,但其通道扩展较为复杂.为了实现任意通道 LED 的均流以及调光,有学者采用 N-1 组反馈控制电路以实现 N 通道电流调节^[10].虽然达到调光的效果,但是随着通道数量的增加,反馈电路模块将使电路复杂性和体积大大增加.

本文基于传统升压电路,利用有源均流技术的优点,只需一个反馈控制电路,实现多通道 LED 的

智能调光.

1 驱动电路

图 1 为本文所提出的单电感多通道有源均流 LED 驱动电路.为了简化分析过程,提出了以下 2 点假设:①开关管、二极管、电容和电感均为理想元件;②输出电容 C_1, C_2, C_N 的值足够大,LED 串的输出电压为稳定值.

1.1 电路结构

电路的输入回路为 Buck 升压拓扑,由输入电源、开关管 SM、输入电感 L_1 、二极管 DM 构成,输出回路包括 N 个 LED 通道,每个通道由一个二极管、一个开关管和 LED 负载构成,利用电感 L_1 的特性,为 N 个通道提供能量.

1.2 工作原理

以图 1 的三通道 LED 驱动电路为例,其主要波形如图 2 所示.在一个周期内,该驱动电路可分为九个工作阶段,对应 $t_0, t_1, \dots, t_9$ 九个时间段.

收稿日期:2019-05-06

^{*} 基金项目:广州市科技计划项目科学研究专项(201707010390);广东省科学院创新人才引进资助专项(2017GDASX-0862)

作者简介:许平(1985-),男,广东揭阳人,大专,研究方向为电源驱动控制.

通讯作者:夏智锋(1986-),男,湖南武冈人,硕士,研究方向为光学工程与照明应用.

万方数据

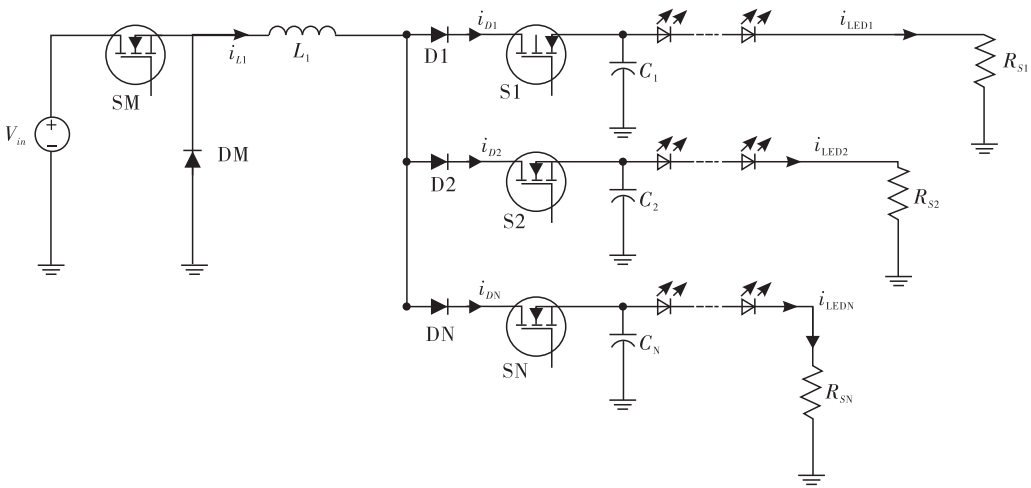


图 1 驱动电路结构图

Fig. 1 Drive circuit structure

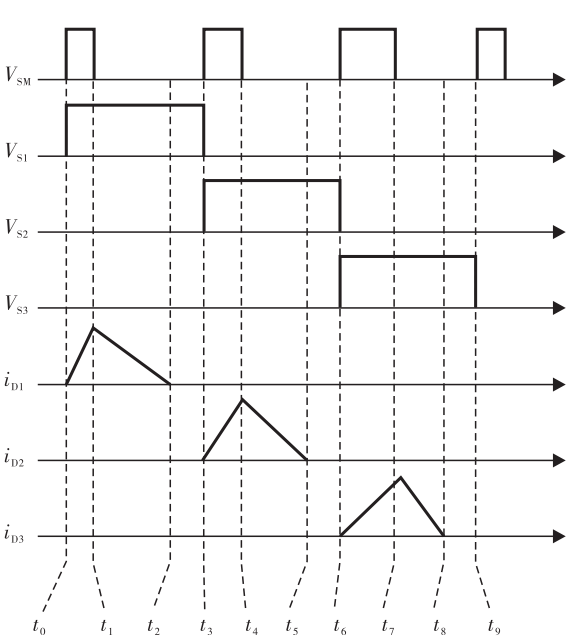


图 2 三通道 LED 驱动电路的主要波形图

Fig. 2 The main waveform of three-channel LED driver circuit

阶段 1 $[t_0 \sim t_1]$: t_0 时刻,主开关管 SM 开始导通,输入电压 V_{in} 对电感 L_1 进行充电,而通道 1 的开关管 S1 和二极管 D1 同样导通,即电感电流流过 LED1 负载,但由于二极管 D2、D3 处于关断状态,负载 LED2、LED3 分别从各自的输出电容 C_2 、 C_3 获取能量。各器件的电流如式(1):

$$\begin{cases} i_{L1}(t) = i_{L1}(t_0) + \frac{V_{in}}{L_1}(t - t_0) \\ i_{D1}(t) = i_{L1}(t_1) \\ i_{D2}(t) = 0 \\ i_{D3}(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

阶段 2 $[t_1 \sim t_2]$: t_1 时刻,主开关管 SM 关断,开关管 S1 仍处于导通状态,而开关管 S2、S3 处于关断状态,则电感 L_1 通过二极管 D1、开关管 S1、LED1 负载、二极管 DM 进行放电,为 LED1 负载提供能量,而 LED2、LED3 负载仍从对应的输出电容 C_2 、 C_3 获取能量。各器件的电流如式(2)

$$\begin{cases} i_{L1}(t) = i_{L1}(t_0) - \frac{V_{in} - V_{LED1}}{L_1}(t - t_0) \\ i_{D1}(t) = i_{L1}(t_1) \\ i_{D2}(t) = 0 \\ i_{D3}(t) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

阶段 3 $[t_2 \sim t_3]$: t_2 时刻,各开关管的状态与阶段 2 相同,此时电感 L_1 放电结束,D1、D2、D3 关断,三个 LED 负载从各自的输出电容 C_1 、 C_2 、 C_3 获取能量。各器件的电流如式(3):

$$\begin{cases} i_{L1}(t) = 0 \\ i_{D1}(t) = 0 \\ i_{D2}(t) = 0 \\ i_{D3}(t) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

同理,阶段 4 至阶段 9 与前三个阶段类似,分别包括一次电感储能和电感为 LED 负载释放能量的过程,根据电感 L_1 的伏秒平衡准则,可得到式(4):

$$\begin{cases} V_{LED1} = d_1 V_{in} \\ V_{LED2} = d_2 V_{in} \\ V_{LED3} = d_3 V_{in} \end{cases} \quad (4)$$

其中, d_1 、 d_2 、 d_3 分别为 S1、S2、S3 各自导通时主开关管 SM 的导通占空比. 根据 LED 的等效电路模型^[11], 可得式(5).

$$\begin{cases} i_{LED1} = \frac{d_1 V_{in} - V_{F1}}{R_{LED1}} \\ i_{LED2} = \frac{d_2 V_{in} - V_{F2}}{R_{LED2}} \\ i_{LED3} = \frac{d_3 V_{in} - V_{F3}}{R_{LED3}} \end{cases} \quad (5)$$

其中 i_{LED1} 、 i_{LED2} 、 i_{LED3} 分别表示三个通道 LED 的电流, V_{F1} 、 V_{F2} 、 V_{F3} 分别表示三个 LED 负载的开启电压, R_{LED1} 、 R_{LED2} 、 R_{LED3} 则为三个 LED 负载的等效串联电阻. 通过调节主开关管 SM 在各阶段内的导通时间, 便可实现对三个通道 LED 负载的调光.

2 调光原理

为了实现多基色 LED 驱动电路的智能化调光, 提出图 3 所示的反馈控制电路. 该电路包括两个 8 选 1 数据选择器、一个电流采样控制模块、一个时序逻辑控制模块. 对照图 2 所示波形图, 时序逻辑控制模块产生各通道开关管 S1、S2、S3 所需的驱动信号, 即分别为 001 (S3S2S1)、010 (S3S2S1)、100 (S3S2S1), 并且共同连接到数据选择器的地址输入端, MUX1 负责选通 LED 负载的采样电流值, MUX2 负责选通对应的参考电流值, 然后经过误差放大器 EA1 和比较器 CMP1 输出主开关管 SM 的驱动信号. 因此, 系统只需一个反馈调节电路便能实现各通道 LED 负载的调光功能, 减少了电路元件, 也简化了控制逻辑.

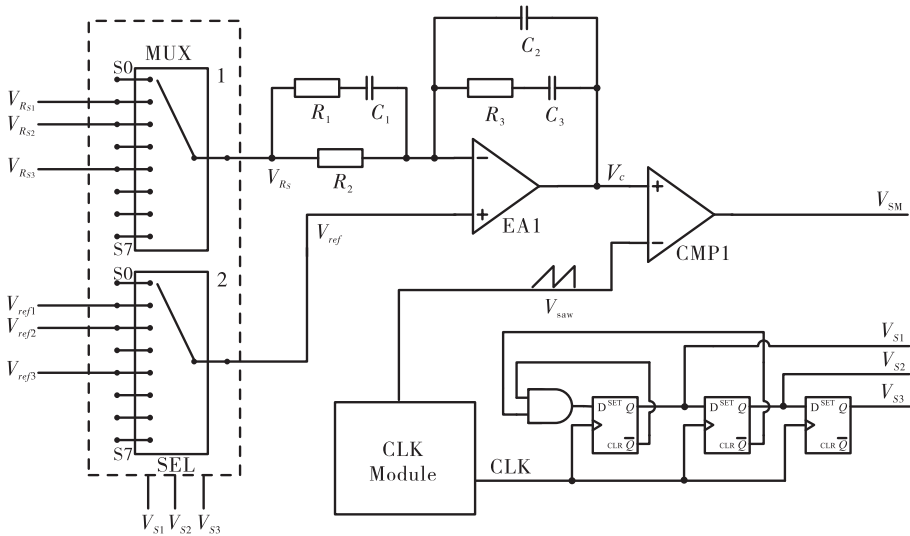


图 3 反馈控制电路图
Fig. 3 Feedback control circuit diagram

3 仿真及试验结果

为验证本文所提出的电路模型, 利用 PSIM 软件进行仿真, 并搭建试验样机进行测试. 仿真和试验的主要电路参数列于表 1.

通过 PSIM 软件对电路模型进行仿真, 在相同负载电流和不同负载电流两种负载电流的情况下, 电路均能可靠运行, 仿真结果分别如图 4、图 5 所示.

万方数据

表 1 电路主要参数

Table 1 The main parameters of the circuit		
变量	描述	参数
Vin	输入电源	48V
SM	主开关管	IRFI540G, N-MOSFET
S1~S3	开关管	IRFI540G, N-MOSFET
L ₁	输入电感	10 uH
C ₁ ~C ₃	输出电容	100 uF
R _{S1} ~R _{S3}	采样电阻	0.1 Ω
MUX1~MUX2	数据选择器	CD4051



图 4 相同负载电流的仿真波形图

Fig. 4 The same load current simulation waveforms

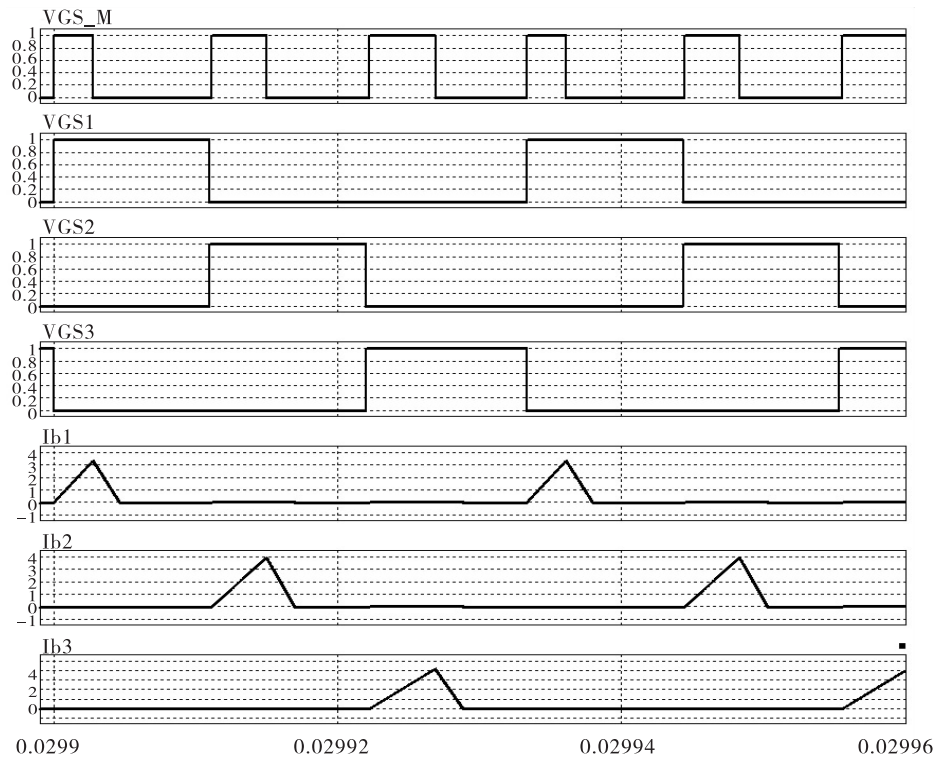


图 5 不同负载电流的仿真波形图

Fig. 5 Different load current simulation waveforms

根据电路模型搭建试验样机,并在负载电流相同与不同两种情况下进行测试,测得波形图分别如图 6、图 7 所示。

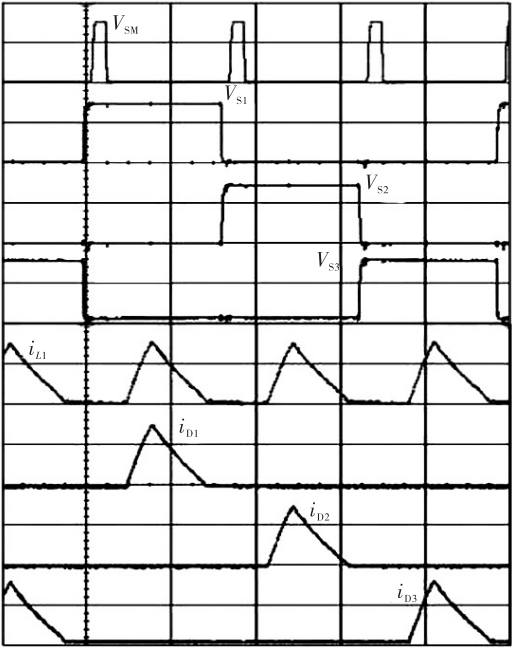


图 6 相同负载电流的实测波形图

Fig. 6 The same load current measured waveform

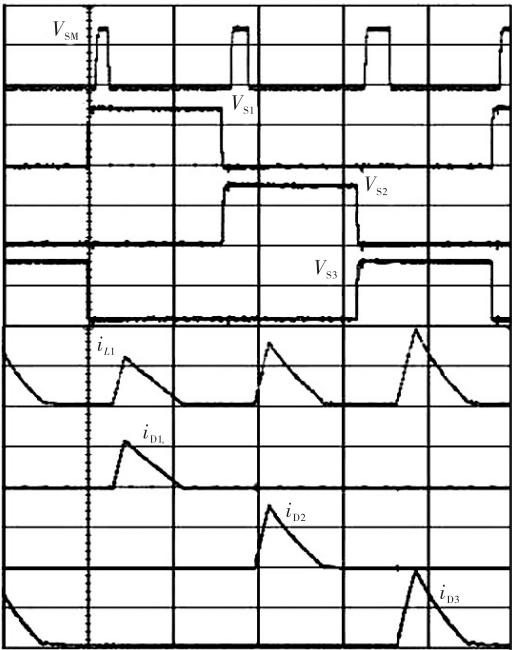


图 7 不同负载电流的实测波形图

Fig. 7 Different load current measured waveform

图 6 和图 7 为样机实测波形 ($V_{SM}:10V/div$; $V_{S1}:10V/div$; $V_{S2}:10V/div$; $V_{S3}:10V/div$; $i_{L1}:2A/div$;

$i_{D1}:2A/div$; $i_{D2}:2A/div$; $i_{D3}:2A/div$),在负载电流相同或不同两种情况下, i_{D1} 、 i_{D2} 、 i_{D3} 三路电流大小分别与各自周期内流过电感 L_1 的电流大小相等,当控制三路开关管的导通时间相同时,可使三路电流达到均衡.可见,电路的性能均与理论分析结果一致。

4 结 论

理论分析、软件仿真以及实际样机测试结果表明,本文提出的单电感有源均流 LED 驱动电路既能有效保证多基色 LED 光源的自稳定驱动,也能实现其智能化调光,并且只需共用一个反馈调节模块.所设计的电路不仅减少了电路元件,也简化了控制逻辑。

参考文献:

[1] ONO K, MIKI M, Yoshimi M, et al. Development of an intelligent lighting system using LED ceiling lights into an actual office[J]. Electronics & Communications in Japan, 2012, 95(10):54-63.

[2] 苏治平, 陈宇, 郭春威, 等. 多基色白光 LED 的配色研究[J]. 半导体光电, 2013, 34(6):971-974.

[3] ZHANG R, CHUNG S H. Useof Daisy-Chained Transformers for Current-Balancing Multiple LED Strings[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(3):1418-1433.

[4] KIM H C, YOON C S, JEONG D K, et al. A single-inductor, multiple-channel current-balancing LED driver for display backlight applications [C]. Energy Conversion Congress and Exposition. IEEE, 2013:3448-3451.

[5] ZHANG R, CHUNG S H. Use of Daisy-Chained Transformers for Current-Balancing Multiple LED Strings[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2014, 29(3):1418-1433.

[6] WU X, HU C, ZHANG J, et al. Analysis and Design Considerations of LLC Resonant Multioutput DC/DC LED Driver With Charge Balancing and Exchanging of Secondary Series Resonant Capacitors [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 30 (2): 780-789.

[7] YU Y. Capacitor Clamped Current Sharing Circuit for Multi-String LEDs[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012, 61(5)

[8] YE Y, CHENG K W E, LIN J, et al. Single-Switch Multichannel Current-Balancing LED Drive Circuits Based on Optimized SC Techniques [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(8): 1-1.

[9] 魏晓群, 常天海. 一种单开关多路均流输出 LED 驱动电路的分析与设计[J]. 电子技术应用, 2017, 43(8): 144-146.

[10] MODEPALI K, PARSA L. A Scalable N-Color LED Driver Using Single Inductor Multiple Current Output Topology [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 31(5):3773-3783.

[11] LIN R L, TSAI J Y, ALONSO J M, et al. Four-Parameter Taylor Series-Based Light-Emitting-Diode Model[J]. IEEE Journal of Emerging & Selected Topics in Power Electronics, 2015, 3(3):581-588.

Analysis and design of a single-inductor LED driver based on active current balancing method

XU Ping,XIA Zhifeng,ZHANG zhiqing,GU zhiliang,ZHANG qiang,HONG yu
Guangdong InSTITUTE of Semiconductor Industrial Technology,Guanghzou 510006,China

Abstract: In order to realize the self-stabilization and intelligent dimming of the multi-color LED light source, a single inductor multi-output LED driver based on active current sharing technology is proposed. Compared with the existing balancing method, the proposed driver uses only one magnetic component, which can drive odd or even channels' LED load, and the intelligent regulation degree is high. In this paper, the principle and control method of the driver are analyzed, and the performance of the circuit is verified by the PSIM simulation software and the measured results, the driving circuit can realize self-stabilized intelligent dimming of multi-color LED light source.

Key words: multi-color LED; intelligent dimming; single inductor; LED driver



• 信 息 •

《材料研究与应用》第一届编委会	插页 1
《材料研究与应用》征稿启事	插页 2
《材料研究与应用》承接广告业务	插页 3
本刊开设特约文章专栏	第 89 页
广东省新材料研究所高层次人才引进公告	插页 15~16

• 单位介绍 •

广东省新材料研究所	封三
发展中的广东省科学院	封底
广东省资源综合利用研究所	插页 4
广东省稀有金属研究所	插页 5
广东省半导体产业技术研究院	插页 6
广东省焊接技术研究所(广东省中乌研究院)	插页 7
广东省工业分析检测中心	插页 8
广东省材料与加工研究所	插页 9
广东省科学院产业技术育成中心	插页 10
广东材料谷	插页 11
广州市红日燃具有限公司	插页 12
广东省材料研究学会	插页 13~14