

引用格式:袁艺丹,罗谦,贺江平,等.一种高速高精度恒流输出驱动电路设计[J].微电子学与计算机,2020,37(10):75-78.
[YUAN Y D, LUO Q, HE J P, et al. Design of a high-speed high-precision constant current output driver circuit[J]. Microelectronics & Computer, 2020, 37(10): 75-78.]

一种高速高精度恒流输出驱动电路设计

袁艺丹¹, 罗谦², 贺江平³, 吴克军²

(1 电子科技大学 成都学院, 四川 成都 611731;

2 电子科技大学, 四川 成都 610054; 3 西华大学, 四川 成都 610039)

摘 要:设计了一种高速高精度恒流输出驱动电路.该电路通过消除反馈环路失配和增加输出阻抗的方式提高驱动电路输出电流的精度;同时通过减小功率晶体管过驱电压的方式加快输出电流的开启速度.该恒流输出驱动电路基于 0.18 μm BCD 工艺设计,版图面积约为 0.1 mm^2 .通过芯片测试,该恒流输出驱动电路的输出电流为 60 mA 时,负载电压在 0.3~4.5 V 范围内输出电流精度为 $\pm 0.16\%$;输出电流为 120 mA 时,负载电压在 0.55V~4.5V 范围内输出电流精度为 $\pm 0.12\%$.输出电流为 120 mA 时,输出电流开启时间为 20 ns.

关键词:驱动电路;开启速度;恒流输出;高速高精度

中图分类号: TN431.1

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2020)10—0075—04

Design of a high-speed high-precision constant current output driver circuit

YUAN Yi-dan¹, LUO Qian², HE Jiang-ping³, WU Ke-jun²

(1 Chengdu collage, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

2 University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;

3 Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: A high-speed and high-precision constant current output drive circuit is designed in this paper. The current precision of the driver circuit is improved by eliminating the mismatch of the feedback loop and increasing the output impedance. The turn-on speed of output current is enhanced by reducing the overdrive voltage of the power transistor. The proposed driver circuit was fabricated in a 0.18 μm BCD process. It occupies only 0.1 mm^2 chip area. The chip tested result show that the current accuracy is $\pm 0.16\%$ when the output current is 60 mA for the output voltage range from 0.3V to 4.5V. While the current accuracy is $\pm 0.12\%$ when the output current is 120 mA for the output voltage range from 0.55V to 4.5 V. The turn-on time is only 20 ns for an output current of 120mA.

Key words: driver circuit; turn-on speed; constant current output; high-speed and high-precision

1 引言

随着移动通讯和显示技术的快速发展,LED 显示以其工作电压低、色彩丰富、性价比高和环境适应能力等优势迅速成为现代显示应用的主流产品,

在众多领域中得到了广泛的应用^[1-3].

恒流输出驱动电路作为 LED 显示应用中的核心模块,其性能成为限制整个系统性能的瓶颈之一.其中,输出电流精度和开启速度是判定恒流输出驱动电路性能优劣的核心技术指标^[4-5].众所周知,传

统的恒流输出驱动电路中,由于器件自身的失配和工艺偏差等因素存在,导致恒流输出驱动电路的输出电流精度变差.其次,由于LED显示应用中需要恒流输出驱动电路具有恒定且大电流输出,为了满足上述要求,恒流输出驱动电路通常采用具有较大栅面积的功率晶体管来满足上述要求.然而,由于运算放大器的驱动能力是有限的,较大的栅极面积带来的大的栅极电容将严重的限制驱动电路的开启速度^[4].较差的输出电流精度和缓慢的开启速度在LED显示应用中通常表现为显示图像失真,色彩偏移等现象,这将极大的降低LED显示系统的显示质量和视觉效果^[6-8].为了改善上述传统恒流输出驱动电路中存在的较差的输出电流精度和缓慢的开启速度对LED显示系统的影响,本文提出了一种高速高精度恒流输出驱动电路的设计方案,实现了驱动电路高精度电流输出和高速的电流开启的目标.

2 电路结构及工作原理

本文提出的高速高精度恒流输出驱动电路的电路结构和信号控制时序如图1所示.与传统恒流输出驱动电路相比,本文提出的恒流输出驱动电路通过增加了低压 cascode 晶体管 NM0 和失配误差消除电路的方式提高了电流输出端的输出电阻和消除了失配误差,从而实现提高输出电流的精确度的目的.此外,由于加入了低压 cascode 晶体管 NM0 管且该晶体管处于常开启状态,功率晶体管 HVNM0 仅由 PWM 信号经数字 Buffer 增强后控制,不再受运算放大器驱动能力和反馈环路建立速度的影响,恒流输出驱动电路的开启速度得到有效的提高.

2.1 失配误差消除

本文提出的恒流输出驱动电路中失配误差消除原理如图1所示,其简化示意图如图2所示.时钟逻辑控制模块产生互补控制信号 CLKA 和 CLKB.当 CLKA 为高电平,CLKB 为低电平时,开关 A1,A2 断开,开关 B1,B2 闭合,运算放大器连接关系如图2(a)所示.运算放大器的输入端端点电压可以表示为:

$$V_N = V_P = V_{REF} \quad (1)$$

$$V_X = V_{OS} + V_N \quad (2)$$

式中, V_P , V_N 分别为运算放大器 A0 的正端和负端输入电压, V_{REF} 为基准电压源.由公式(3)和公式(4)可以得到:

$$V_X = V_{OS} + V_{REF} \quad (3)$$

电容两端电压为:

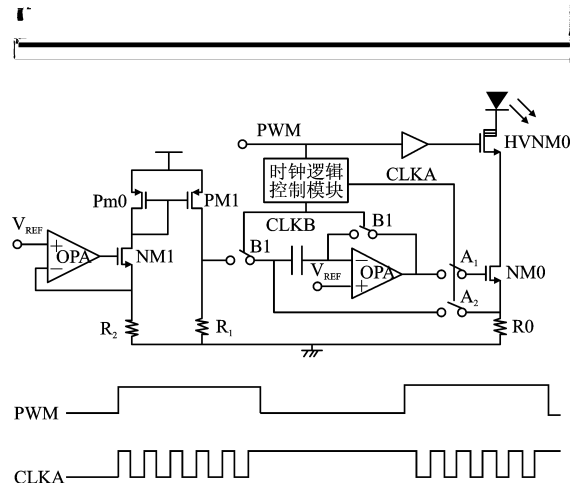


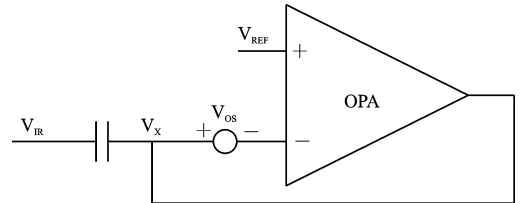
图1 高速高精度恒流输出驱动电路与控制时序

$$V_{CAP1} = V_{IR} - V_X = V_{IR} - V_{REF} - V_{OS} \quad (4)$$

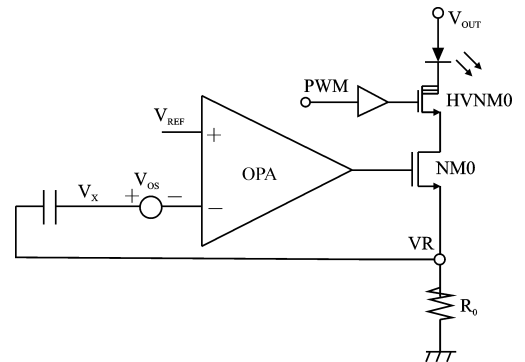
此时,晶体管 NM0 的栅极电压维持开关 A1 断开前的电压不变.

当 CLKA 为低电平,CLKB 为高电平时,开关 A1,A2 闭合,开关 B1,B2 断开,运算放大器连接关系如图2(b)所示.电容 CAP 两端电压为:

$$V_{CAP2} = V_R - V_X = V_R - V_{REF} - V_{OS} \quad (5)$$



(a) 开关 A1,A2 断开,开关 B1,B2 闭合;



(b) 开关 A1,A2 闭合,开关 B1,B2 断开

图2 开关不同状态下简化电路示意图

输出电流可以表示为:

$$I_{OUT} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_{CAP2} + V_X}{R} = \frac{V_{CAP2} + V_{REF} + V_{OS}}{R} \quad (6)$$

根据电荷守恒原理可以得到,

$$V_{CAP1} = V_{CAP2} \tag{7}$$

由公式(4) - (7) 可以得到:

$$I_{OUT} = \frac{(V_{IR} - V_{REF} - V_{OS}) + V_{REF} + V_{OS}}{R} = \frac{V_{IR}}{R} \tag{8}$$

由图 1 可知,

$$V_{IR} = I_{IN} \times K \times R \tag{9}$$

式中,参数 K 为图 1 中电阻 R_0 和 R_1 的阻值比例系数. 由公式(8) 和(9) 可以得到输出电流为:

$$I_{OUT} = \frac{V_{IR}}{R} = KI_{IN} \tag{10}$$

通过公式(10) 可以看出,输出电流与输入电流成比例,失配误差 V_{OS} 项消除. 输出电流不再受失配误差的影响,输出电流精度得到了提高.

2.2 开关速度

由图 1 可知,当脉冲宽度调制信号 PWM 为高电平时,如 2.1 节分析所述,低压晶体管 NM0 一直处于开启状态;当 PWM 为低电平时,CLKA 和 CLKB 均为高电平,开关 A1,A2,B1,B2 均断开,晶体管 NM0 的栅电压维持开关 A1 断开前的电压不变. 所以晶体管 NM0 的开启状态不再受反馈环路的影响,输出电流的开启时间只受高压晶体管 HVNM0 的开启时间限制.

传统恒流输出驱动电路中功率晶体管的过驱电压 V_{OV} 为:

$$V_{OV} = V_{GS} - V_{TH} = V_g - V_R - V_{TH} \tag{11}$$

式中, V_{TH} 为功率晶体管的阈值电压, V_R 为电阻 R_0 上的电压. 本文提出的驱动电路中由于加入了低压晶体管 NM0,且 NM0 处于常开启状态,则该结构中功率晶体管的过驱电压 V'_{ov} 为:

$$V'_{OV} = V_{GS} - V_{TH} = V_g - V_{DS} - V_R - V_{TH} \tag{12}$$

式中, V_{DS} 为低压晶体管 NM0 的漏源电压. 通过公式(11) 和(12) 可以看出,

$$V'_{OV} < V_{OV} \tag{13}$$

由公式(13)可以得到,与传统恒流输出驱动电路相比,本文提出的驱动电路中功率晶体管开启需要更小的过驱电压,即能实现更早的开启. 与此同时,功率晶体管的开启状态仅受控制信号 PWM 控制,该控制信号经由反相器组成的 Buffer 电路驱动,而 Buffer 电路的驱动能力远大于运算放大器. 综上所述,与传统驱动电路结构相比,本文提出的恒流驱动电路具有更快的开启速度.

3 实验结果及分析

本文提出的高速高精度恒流输出驱动电路已经在基于 $0.18\ \mu\text{m}$ BCD 工艺的 LED 电源管理芯片中进行验证,恒流输出驱动电路版图面积为 $180\ \mu\text{m} \times 586\ \mu\text{m}$. 芯片中 12 个恒流输出驱动电路并行输出. 芯片中低压晶体管 NM0 的宽长比为 $20\ \mu\text{m}/0.5\ \mu\text{m}$,功率晶体管的 HVNM0 的宽长比为 $13.5\ \mu\text{m}/1.8\ \mu\text{m}$.

图 3 为不同输入电压时输出电流随负载电压的变化关系. 由测试结果可以看出,输出电流先随负载电压的增加而增加,这是因为负载电压太低,晶体管 NM0 工作在线性区. 在输出电流为 60 mA 时,当负载电压大于 0.3 V 时,输出电流不在随负载电压的加而增加. 在输出电流为 120 mA 时,当负载电压大于 0.55 V 时,输出电流不在随负载电压的加而增加. 输出电流精度与输入电压和输出电流的关系如表 1 所示. 在输出电流为 60 mA 时,三种不同的输入电压下,输出电流在负载电压为 0.3~4.5V 范围内精度均为 $\pm 0.16\%$. 在输出电流为 120 mA 时,输出电流的精度也小于 $\pm 0.12\%$.

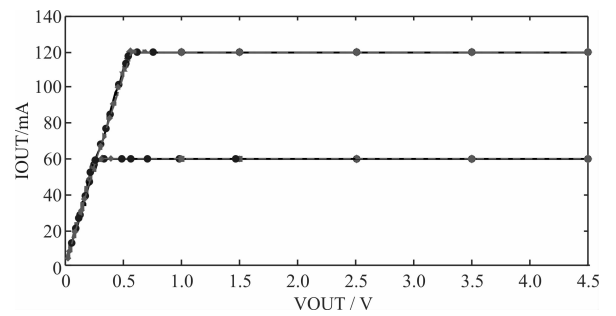


图 3 输出电流随负载电压变化

表 1 驱动电流的输出电流精度

输出电流	输入电压		
	6 V	12 V	28 V
60 mA (0.3 V~4.5 V)	$\pm 0.16\%$	$\pm 0.16\%$	$\pm 0.16\%$
120 mA (0.55 V~4.5 V)	$\pm 0.12\%$	$\pm 0.12\%$	$\pm 0.12\%$

图 4 所示为在调光模式下输出电流为 120 mA 时输出电流与 50% 占空比 PWM 控制信号的测试波形. 通过测试结果可以看出,当 PWM 控制信号由低到高时,功率晶体管开启,输出电流由 0 增长到 120 mA,开启时间为 20 ns. 图 5 为分别在 10%, 5% 和 1% 的 PWM 控制信号控制下输出电流的测

试结果,测试结果显示,本文提出的恒流驱动电路在不同占空比 PWM 控制信号控制下均能准确快速的开启.这也进一步表明,本文提出的恒流驱动电路具有高开启速度特性.

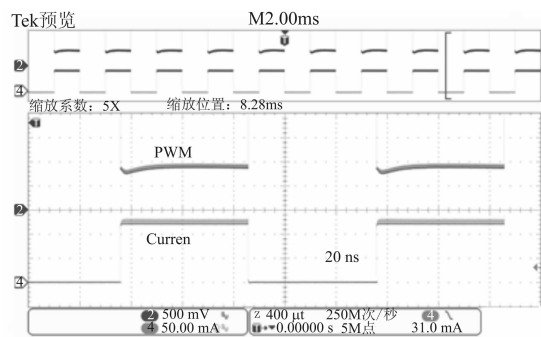
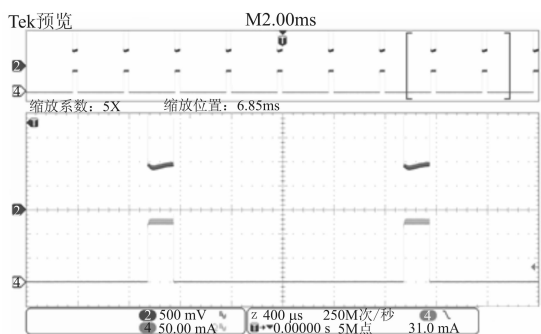
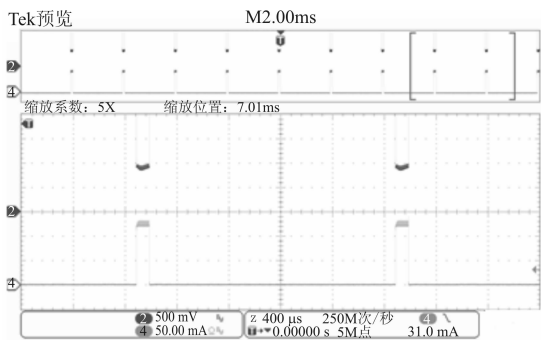


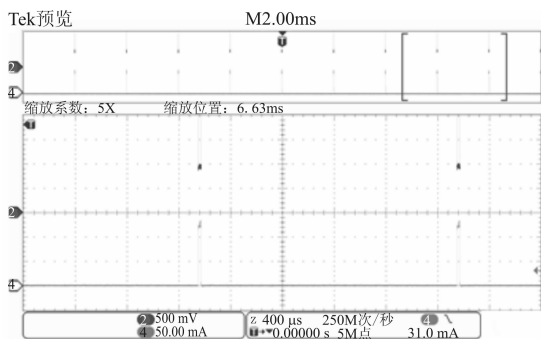
图 4 输出电流测试结果



(a) 10% PWM



(b) 5% PWM



(c) 1% PWM

图 5 在不同占空比 PWM 控制下输出电流测试结果

4 结束语

本文提出了一种高速高精度恒流输出驱动电路,实现了高精度电流输出和输出电流快速开启的目的.该电路通过消除反馈环路失配和提高输出阻抗的方式增加输出电流的精度;同时通过减小功率晶体管过驱电压提高输出电流的开启速度.该电路基于 0.18μm BCD 电路设计并流片测试.测试结果显示,本文提出的恒流输出驱动电路具有高精度电流输出和输出电流快速建立的特点,具有较高的工程参考价值.

参考文献:

- [1] MU H T, LI G, LIU L. A high precision constant current source applied in LED driver[C]// 2011 Symposium on Photonics and Optoelectronics, Wuhan, China, 2011: 1-4.
- [2] LYU X F, LI Y C, CAO D, et al. A low-cost high-efficiency linear LED driver with concave Current control[C]// 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Canada, 2015: 5323 - 5328.
- [3] WANG Y, GAO M K, GUO D H. Design of 16-bits constant-current LED driver[C]// 2010 International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification, Chengdu, China, 2010: 53 - 56.
- [4] LIU Z D, LEE H. A 26W 97%-efficiency fast-settling dimmable LED driver with dual-nMOS-sensing based glitch-tolerant synchronous current control for high-brightness solid-state lighting applications[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2015, 50 (9): 2174-2187.
- [5] HUBERT H, CLAUS J, ROLF W, et al. High-speed LED driver for ns-pulse switching of high-current LEDs[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2014, 26(18): 1871-1873.
- [6] HIROYUKI T, YOHTARO U, OSAMU T. High-speed LED driver for visible light communications with drawing-out of remaining carrier[C]// 2011 IEEE Radio and Wireless Symposium, Phoenix, AZ, USA, 2011: 295 - 298.
- [7] LIAO T J, CHEN C L. Robust LED backlight driver with low output voltage drop and high output current accuracy [C]// 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, Singapore, 2008:63-66.
- [8] DONG Z X, LI N L, YU Q, et al. Design of a high speed constant current output driver circuit [J]. Microelectronics, 2013, 43(3): 375-378.

[6]

HUANG Q, SU S, LI J, et al. Enhanced Energy-Efficient Scheduling for Parallel Applications in Cloud [C]//IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing, USA, IEEE, 2013; 781-786.

[7]

THANAVANICH T, UTHAYOPAS P. Efficient energy aware task scheduling for parallel workflow tasks on hybrids cloud environment[C]//International Computer Science and Engineering Conference, USA, IEEE, 2013; 37-42.

[8]

DU Y M, XIAO J H. Scientific workflow scheduling algorithm based on hybrid multi-objective particle swarm optimization in cloud environment[J]. Computer Science, 2017, 44(8): 252-259.

[9]

XIE Y, HE T, NI Q, et al. Scheduling for improving the energy efficiency of cloud workflow execution [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017, 37(4): 1056-1071.

[10]

RODRIGO N, RAJIV R, ANTON B, et al. Cloud-Sim: A Toolkit for Modeling and Simulation of Cloud Computing Environments and Evaluation of Resource Provisioning Algorithms [J]. Software Practice & Experience, 2010, 41(1): 23-50.

作者简介:

张小庆 男, (1984-), 博士, 讲师. 研究方向为移动计算.
E-mail: 51449902@qq. com
安春玲 女, (1987-), 硕士, 中级馆员. 研究方向为数字化图书馆建设.
胡亚捷 男, (1997-), 学士. 研究方向为软件工程。

(上接第 78 页)

作者简介:

袁艺丹 女, (1986-), 硕士, 讲师. 研究方向为模拟集成电路与功率集成电路设计.
罗 谦 男, (1976-), 博士, 副教授. 研究方向为化合物半导体异质结物理, GaN 基高电子迁移率晶体管器件物理及制

备工艺等.
贺江平 男, (1976-), 博士, 讲师. 研究方向为模拟集成电路与功率集成电路的设计.
吴克军(通讯作者) 男, (1986-), 博士, 博士后. 研究方向为模拟数字混合集成电路设计.
E-mail: kjwu@uestc. edu. cn