

升压型白光 LED 驱动控制器的设计^{*}

杨永良, 吴晓波^{*}

(浙江大学 超大规模集成电路设计研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要:为使白光 LED 能适应宽电源电压范围的工作,并具有高调光比和良好的调光特性,提出了一种白光 LED 驱动电路控制器。设计了一个具有高线性调整率的带隙电压基准为内部模块提供稳定的参考电压,保证了系统在宽工作电压范围内的稳定工作;为避免模拟调光造成的色偏,采用了数字 PWM 调光模式,实现了无色偏调光功能;此外,为减少 LED 在系统启动时承受的瞬时电流,引入了软启动电路,延长了器件的寿命。控制芯片在 1.5 μm BCD 工艺下设计与完成。利用该器件构成应用电路的实测结果表明,所提出的 LED 控制器能够在 6 V ~ 15 V 输入电压范围内稳定驱动一个总负载电流为 150 mA 的 3 × 7 白光 LED 阵列,并能实现很高的 PWM 数字调光比,达到了预期的设计要求。

关键词:白光 LED 驱动;PWM 调光;峰值电流模式

中图分类号:TN433

文献标识码:A

文章编号:1001 - 4551(2010)09 - 0083 - 05

Design of boost WLED driver controller

YANG Yong-liang, WU Xiao-bo

(Institute of VLSI Design, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: To ensure the wide supply voltage adaptability of white lighting LED as well as the high dimming ratio and performance, a white LED driver controller was proposed. A bandgap voltage reference with high linear regulation was introduced into the chip to offer a stable reference voltage to inner modules of the system, which guaranteed its stable work over wide voltage range. To avoid the color drifting originated from analog dimming, a digital PWM dimming was proposed and realized. In addition, a soft start circuit was designed to inhibit the transient current during the starting periods of system, which prolong the lifetime of the devices. The chip was designed and fabricated in 1.5 μm BCD technology. An actual driver circuit was constituted by the chip to drive a 3 × 7 white LED array with a total load current of 150 mA. The test results show that it drives the array steadily over the supply voltage range from 6 V to 15 V. And a high PWM dimming ratio is achieved. All the test results meet the design specifications well.

Key words: white LED driver; pulse width modulation(PWM) dimming; peak current mode control

0 引 言

和传统照明中所用的白炽灯和荧光灯相比,白光 LED 具有发光效率高、节能、体积小、使用寿命长、不含汞、环保无污染等优点^[1]。近年来,白光 LED 的发光强度、功率和效率都有明显提高,使得其在背光源、显示屏、汽车内部照明、手电筒、装饰灯、景观照明等各个领域都获得了广泛应用。尤其是在照明领域,由于白光 LED 的功耗远低于传统光源(包括节能灯),因而具有广阔的应用前景。

白光 LED 的电特性决定了其驱动方式常采用恒流驱动模式。在恒流驱动模式中,检测和稳定的对象物理量是负载电流,因此,通常能够比恒压驱动模式提供更加稳定的电流,以保证 LED 亮度和色度的稳定。同时,在实际应用中要求白光 LED 能够提供更大的功率和亮度时,往往会用到串联连接的 LED 阵列,由于恒流模式下各支路中流过每个 LED 的电流完全一致,有利于稳定整个阵列的光照色度^[2]。但串联连接的白光 LED 阵列对驱动电路也提出了更高的要求,包括具有更宽的供电电压范围和亮度调节范围等,以适应

收稿日期:2010 - 01 - 27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60906012)

作者简介:杨永良(1975 -),男,甘肃定西人,硕士研究生,主要从事模拟与数模混合集成电路方面的研究. E-mail: yangyl@vlsi. zju. edu. cn

通信联系人:吴晓波,男,教授,博士生导师. E-mail: wuxb@vlsi. zju. edu. cn

时,电流比较器的输出翻转,触发 RS 触发器使得触发器输出置零,并通过一个驱动器关断功率开关管 M_1 。电感电流增大到所设定的最大值时,控制电路负责关断开关管,这种工作方式叫做峰值电流检测模式。分压电阻 R_1 和 R_2 检测输出电压 V_{out} ,当输出电压 V_{out} 的分压增大到大于所设置的参考电压时,过压保护比较器的输出翻转,并通过一个或门后触发 RS 触发器使得 RS 触发器输出翻转置零,然后驱动器关断功率开关管 M_1 。过压保护比较器的输出与电流比较器的输出通过一个或门共同触发 RS 触发器,从而决定开关管的关断,实现峰值电流检测和输出电压过压保护功能。

1.3 PWM 调光设计

在很多实际应用中要求控制器具备调节 LED 亮度的功能,比如手机在外界环境亮度发生变化时可以自动调节背光源的亮度以适应不同的外界环境。通过改变流过 LED 的电流大小来改变亮度的方式叫做模拟调光方式,对于白光 LED,模拟调光将引起 LED 色度的变化,同时结温也会随之变化。PWM 调光方式通过保持 LED 电流大小不变而改变 LED 导通的时间来调节亮度,避免模拟调光所造成的 LED 色度偏差的不利因素。

图 2 中,在 LED 支路中串联一个调光开关管 M_2 ,用一个调光 PWM 信号控制调光开关管 M_2 的开通与关断。随着调光 PWM 信号占空比的变化,LED 的导通时间也随之变化,于是在确保电流大小不变的同时实现了亮度调节功能。由于人眼的视觉残留,当 PWM 调光信号的频率大于 100 Hz 时,人眼不会感觉到灯的闪烁^[7]。调光比 DR 定义为调光 PWM 信号的周期与导通时间的比,调光比数值的大小代表控制器调光能力的强弱。为保证电感电流连续,调光 PWM 信号的频率必须小于主电路开关管 PWM 控制信号的频率一定的倍数^[8]。

保持调光 PWM 信号频率固定,减小调光 PWM 信号占空比可以得到更大的调光比。但是调光 PWM 信号占空比太小会造成主电路导通时间过短,电感电流将不能正常增大实现储能功能,因此主电路关断的情况下电感 L 如果不能正常释放能量,电路不能正常工作。为得到尽可能大的调光比,可以减小电感或者提高输入电压以保证电感电流快速增加到正常工作时的电流值来实现电感储能的功能。在调光脉冲 PWM 占空比一定的情况下,降低调光脉冲 PWM 信号的频率,可以增加主电路导通的时间,进而保证电感 L 有足

够的储能时间,同样可以得到更大的调光比。

2 主要电路模块设计

2.1 电压基准

电压基准 V_{REF1} 是一个对精度、温度特性和线性调整率要求都不高的带隙基准^[9],只是用来为欠压锁定比较器提供一个参考电压。当输入电压升高到超过 V_{REF1} 时,欠压锁定比较器输出一个使能信号,使得电压基准 V_{REF2} 和其他电路模块开始工作。电压基准 V_{REF1} 的电路结构如图 3 所示,其中 R_1 、 C_1 组成启动电路, M_{N1} 、 M_{N2} 、 Q_1 和 Q_4 组成的反馈保证 A、B 两点的电位相等,以确保 M_{P2} 、 M_{P3} 的电流相等。通过调节电阻 R_3 、 R_5 以及三极管 Q_2 、 Q_3 的比例可以得到与温度无关的电压基准。

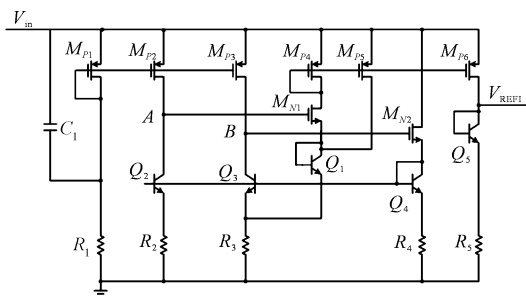


图 3 电压基准 V_{REF1}

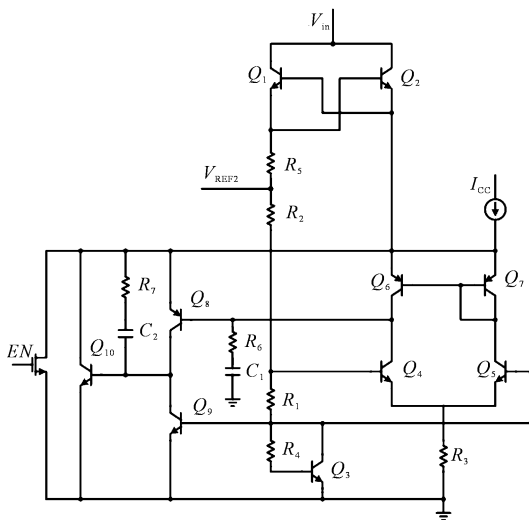


图 4 电压基准 V_{REF2}

电压基准 V_{REF2} 是一个具有很高电压调整率和温度特性的电压基准源,其电路原理如图 4 所示。 Q_8 、 Q_9 和 Q_{10} 组成的反馈网络用以稳定 PTAT 电流。当 Q_3 的集电极电流减小时,差分对的输入电压也随之减小,于是输出电压升高,导致 Q_8 和 Q_{10} 的电流减小,而 Q_5 集电极电压下降,最后 R_1 两端的电压稳定不变,即 PTAT 电流保持相对恒定。由于输入电压的变化范围较大, Q_1 和 Q_2 形成一个互锁的结构,用以承受较高的

由测试结果可以看出,栅极驱动信号 $GATE$ 、电感电流 I_{ind} 和输出电压 V_{OUT} 都是稳定的。

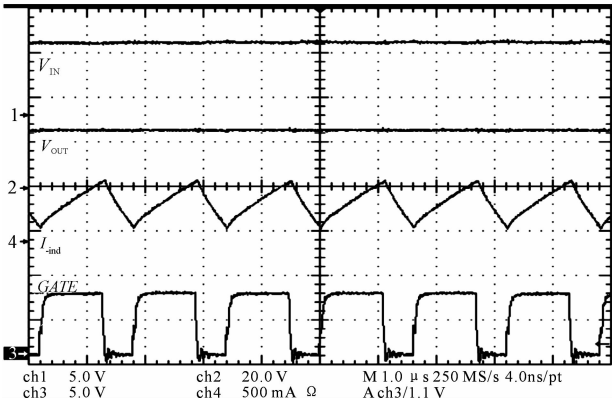


图7 升压电路输出典型波形 ($V_{IN} = 8\text{ V}$)

调光比的增大,LED 导通时间随之减少,但是峰值电流点不变,保证白光 LED 的色彩不会发生漂移。

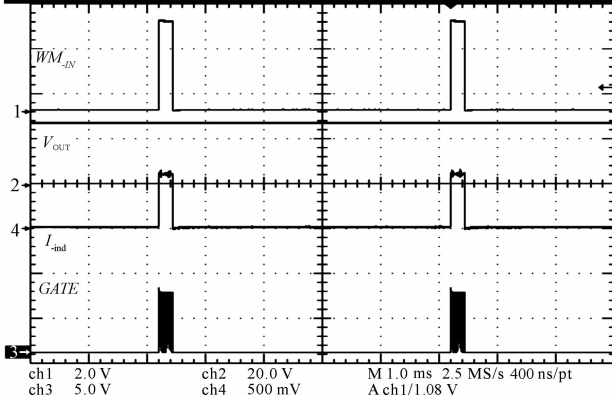


图10 数字调光模式输出典型波形(调光比 $DR = 20$)

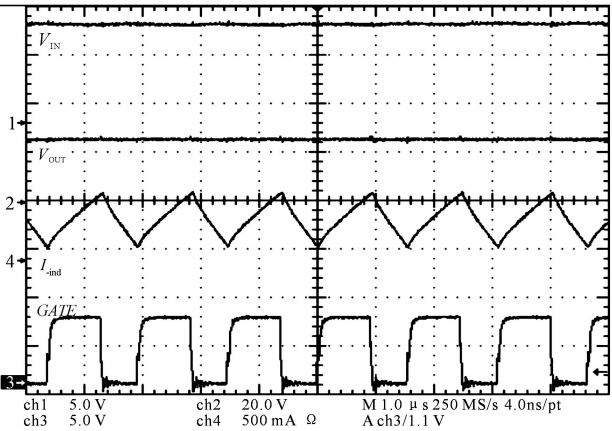


图8 升压电路输出典型波形 ($V_{IN} = 10\text{ V}$)

3.2 数字调光测试

改变调光 PWM 信号可以实现数字调光的功能。基本测试条件如同 3.1 中一致,开关频率为 600 kHz 不变,调光频率设为 20 kHz,当调光比 DR 设置为 2 和 20 时的测量结果波形分别如图 9 和图 10 所示。从测试结果可以看出:保持调光 PWM 信号频率不变,随着

4 结束语

本研究设计了一种基于 PWM 开关电源技术的升压型白光 LED 驱动控制器,并将其应用于实际的升压驱动电路。得益于峰值电流检测控制模式,该驱动器可应用于宽供电电压范围,并实现了很高的数字 PWM 调光比,基本消除了调光导致的色偏。同时,其具有很好的稳定性和瞬态启动保护功能。对应用电路测试的结果表明该驱动控制芯片的设计目标已经实现,可实际应用于 LED 的升压驱动。

参考文献(References):

[1] 黄朝英,高飞,任红. 白光 LED 及其发展概况[J]. 企业科技与发展,2009(14):21-23.

[2] 冯玮. 白光 LED 驱动技术[J]. 现代显示,2008(2):39-42.

[3] 平立. 白光 LED 驱动综述[J]. 现代显示,2006(6):44-48.

[4] 方佩敏. 大功率白光 LED 驱动器电路的设计[J]. 电源技术应用,2007,10(10):10-12.

[5] 侯静,景占荣,高田. 白光 LED 驱动电路的设计[J]. 电源技术应用,2007,10(11):17-20.

[6] 孙良伟,余运江. 一种适用于光伏发电系统的高增益 Boost 变换器[J]. 机电工程,2007,24(9):90-93.

[7] 郑久云,韩志刚,罗胜钦. 白光 LED 的应用与驱动[J]. 现代显示,2009(8):43-46.

[8] 潘文捷,葛康康,何乐年. 高压、高效率白光 LED 驱动电路的研究与设计[J]. 电子器件,2008,31(6):1899-1902.

[9] [美] RAZAVI B. 模拟 CMOS 集成电路设计[M]. 陈贵灿,程军,张瑞智,译. 西安:西安交通大学出版社,2003.

[10] GRAY P R, MEYER R G. Analysis and design of analog integrated circuits[M]. 4th ed. John Wiley & Sons Inc., 2001.

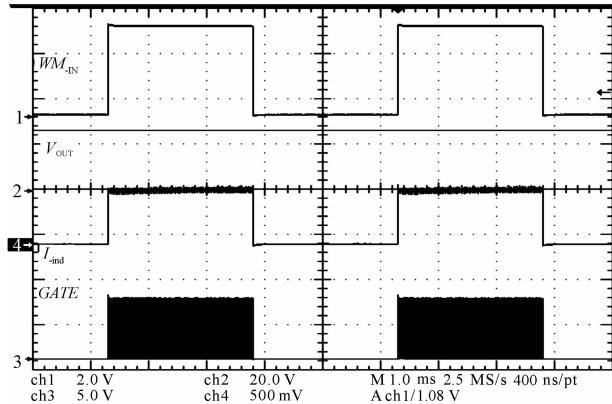


图9 数字调光模式输出典型波形(调光比 $DR = 2$)