

# 一种带输出电压反馈的恒流驱动 IC 设计

洪 明,冯勇建\*,傅科成

(厦门大学物理与机电工程学院,福建 厦门 361005)

**摘要:** 在应用于液晶显示器(liquid crystal display, LCD)背光的发光二极管(light emitting diode, LED)驱动器中,传统设计的 DC-DC 电路是根据最大负载设计 DC-DC 电源,在负载有偏差的情况下,系统效率低下,且发热导致额外功率损失. 针对传统电路不能动态调节输出电压的缺陷,提出一款新型的 LED 驱动器的设计. 芯片采用恒流驱动模式,通过脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)数字模块控制,达到高灰度显示的要求;同时提供一个可级联的反馈电流输出端,配合 DC-DC 转换器,调节 DC-DC 的输出电压,以保证恒流输出驱动电压的同时,限制芯片功耗的增加. 芯片测试符合设计要求,性能稳定.

**关键词:** 互补金属氧化物半导体;电视背光;DC-DC;boost

中图分类号:TN 433

文献标志码:A

文章编号:0438-0479(2011)05-0838-05

液晶显示器(liquid crystal display, LCD)电视用电流改变液晶分子排列状态,给液晶施加不同的电压能控制光线的通过量,从而显示各种各样的图像. 但液晶本身并不发光,需要背光源. 传统的 LCD 背光光源是冷阴极荧光灯(CCFL),发光二极管(light emitting diode, LED)光源与之相比,色域广、寿命长、环保节能. 此外,在电路设计上,采用 LED 背光源的 LCD 的体积更加小巧,电路设计的成本远低于 CCFL.

图 1 是芯片应用电路示意图. 芯片为每颗 16 通道恒流输出芯片,每个通道可串联最多 12 颗 LED, LED 的供电电源由大功率 DC-DC 转换器提供,芯片的反馈输出端输出控制电流到 DC-DC 的反馈输入上,控制 DC-DC 的电流输出. 由于在一个 42 寸电视背光中,需要 5~10 颗恒流驱动芯片,因此芯片间的反馈控制信号可以级联,通过级联终端的芯片输出,控制 DC-DC 的电压.

## 1 恒流驱动芯片模块的设计

恒流驱动芯片的基本模块的结构如图 2 所示,芯片主要由电流输出驱动模块;输出电流偏置模块;输出电压检测模块;反馈电流输出模块;数字控制电路模块;带隙基准、内部低压电源以及保护电路等模块组成.

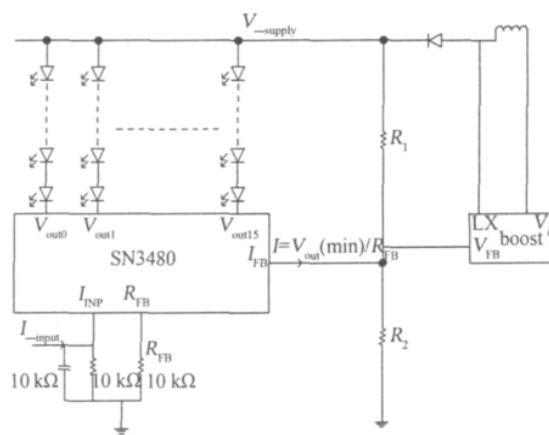


图 1 芯片的应用电路示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the chip's application circuit

电流输出模块的功能是设置并输出恒定 LED 驱动电流. 为使输出电流在一定范围内不受输出电压的影响,需设计电流反馈电路,增加输出通道的阻抗,达到恒流的效果.

由于恒流驱动电路的输出管较大,栅极寄生电容也较大. 输出管的栅极由运算放大器反馈控制输出电流;当输出通道使能,输出管的栅极从 0 V 拉高时,运算放大器进入转换速度. 考虑环路稳定性,运算放大器的输出电流一般较小,输出管要达到预设电流输出需要较长时间. 输出快速启动电路的主要功能是减小输出通道的电流建立时间,使输出通道快速启动,即在运算放大器进入转换时,快速启动电路为输出管的栅极充电;在运算放大器不再转换时,快速启动电路关闭,因此不影响环路稳定性. 该设计可减少所需的最短使

收稿日期:2010-08-16

基金项目:福建省重大科技项目(2010H6025)

\* 通信作者: yjfeng@xmu.edu.cn

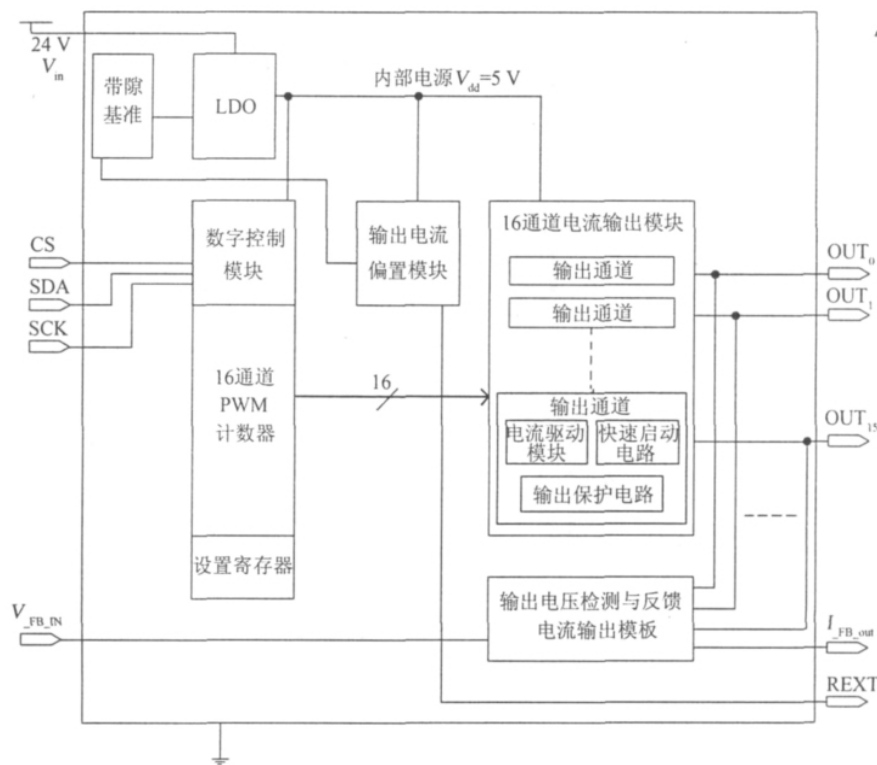


图 2 芯片的应用电路示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the chip's application circuit

能时间<sup>[1]</sup>,提高脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)时钟频率,在相同的 PWM 刷新周期里提高灰度等级,使显示效果更均匀变化而无闪烁感<sup>[2]</sup>.

输出电流偏置模块通过带隙基准产生基准电压,和外接电阻产生偏置电流.输出电流为偏置电流的倍数,故可通过调节外接电阻,改变偏置电流来调节输出电流<sup>[3]</sup>.由于在互补金属氧化物半导体(complementary metal oxide semiconductor, CMOS)工艺中,多晶硅电阻的阻值偏差为 30%,当电流值与其电阻值相关时,不能用以设置电流,此处使用外接电阻.带隙基准的片间差异最大为 10%,通过校准电路可以使带隙基准误差限制在  $\pm 1\%$ ,当外接电阻使用高精度电阻(误差值为  $\pm 0.1\%$ )时,偏置电流的片间误差就被限制在  $\pm 1\%$  以内,结构上达到设计的要求.

为使 DC-DC 的输出电压能随着负载变化实现动态调节,需要对芯片工作状态进行检测,并将检测结果转换成反馈信号输出至 DC-DC 转换器中,调节输出电压,因此设计输出电压检测模块和反馈电流输出电路.输出电压检测模块用于检测并比较各个输出电压,选出最低端的输出电压作为电压基准;反馈电流输出模块就是将此最低端电压转换成电流输出,以控制 DC-

DC 输出电压.当 LED 导通压降升高,芯片输出端压降减小时,反馈电流减小,DC-DC 的输出电压增大;反之,当芯片输出电压上升,反馈电流上升时,DC-DC 输出电压减小,达到动态调节 DC-DC 电压的目的.

在芯片选用工艺中,栅极承压为 5 V,而系统直流电源为 24 V,因此内部低压差线性稳压器(low dropout regulator, LDO)模块产生一个线性低阻抗的稳压 5 V 电源,供芯片栅极作为驱动电压可逻辑电路的电源使用.

PWM 计数器是根据寄存器中 PWM 数据,对 PWM 时钟进行计数,控制各个通道在一个 PWM 刷新周期中的导通时间和关断时间,通过调节各个通道平均导通时间的比值,设置不同的灰度等级<sup>[4-5]</sup>.由于各个通道的 PWM 数据存储在各自的 PWM 寄存器中,因此,设置各个通道的亮度时,只需一次性将数据存入寄存器,不需要一直向每一个通道输入 PWM 信号,减少主控制器对芯片的数据传输,减轻主控制器的负担.

## 2 DC-DC 反馈控制的设计

DC-DC 转换器 boost 电路结构如图 3<sup>[6]</sup> 中虚线方

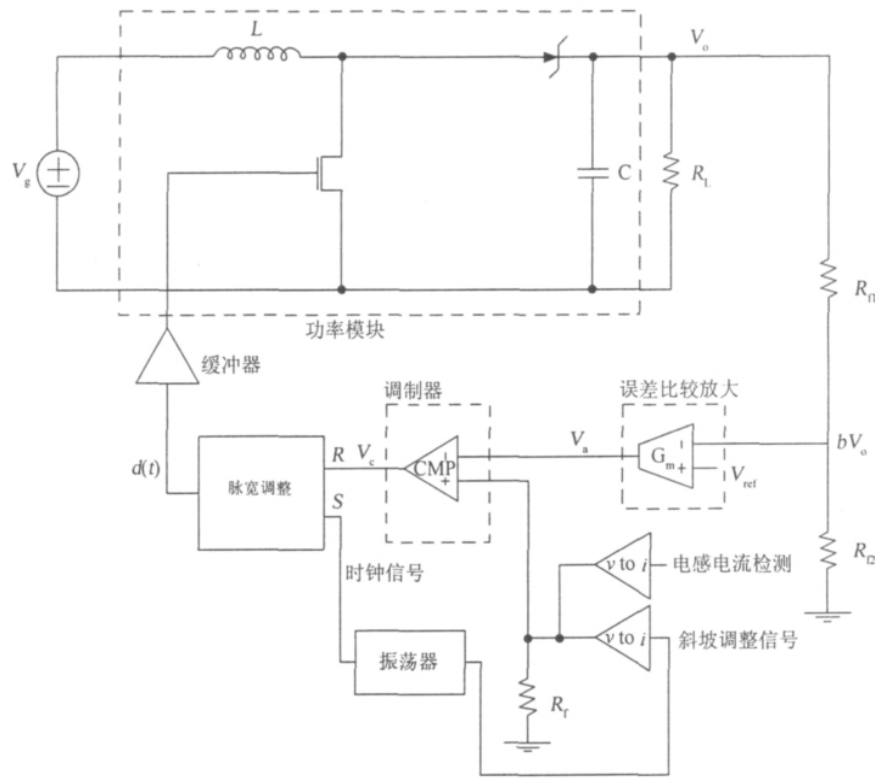


图 3 boost 电路结构及 boost 反馈电路实现  
Fig. 3 The boost circuit and the feedback circuit

框所示：

当电路稳定时，电感电流的变化量为 0，即  $\Delta I_{L\_on} + \Delta I_{L\_off} = 0$ ，计算得出： $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{on} + V_{off}}{V_{off}} = \frac{1}{1-D}$ ， $D$  为控制信号的占空比。可见输出电压与输入电压和开关信号的占空比有关。

我们进一步讨论 DC-DC 输出电压反馈控制的原理。

由于可通过设置开关管控制信号的占空比来设置 boost 的输出电压，因此，在 boost 控制环路中，加入对输出电压采样，与目标电压比较，反馈控制开关管的占空比，就可控制 boost 的输出电压。

图 3 中  $bV_o$  为输出电压经电阻  $R_{f1}, R_{f2}$  的分压，该电压与基准电压  $V_{ref}$  比较，通过误差放大器  $G_m$  后输出  $V_a$ ，输入至比较器负端。比较器正端为周期一定的三角波，当三角波电压低于  $V_a$  时， $V_c$  输出为低，当三角波电压大于  $V_a$  时， $V_c$  输出为高。在每个三角波周期开始时，时钟信号会对 RS 触发器的 S 端输入一个置位信号，由于三角波在周期开始时为 0，所以  $V_a$  大于三角波输出电压，复位信号  $R$  为 0，RS 触发器输出高，当

三角波电压高于  $V_a$  时，比较器输出高，复位信号有效，RS 触发器输出 0。

当输出电压发生变化时， $dV_o$  也发生变化，假设输出电压减小，由于  $dV_o$  为误差放大器的负端输入，所以  $V_a$  增加，复位信号会比原来更晚出现，开关管的导通时间更长。由于  $V_o$  与开关管的  $D$  成正比，开关管的导通时间上升， $D$  增大，使  $V_o$  上升，形成负反馈环路。

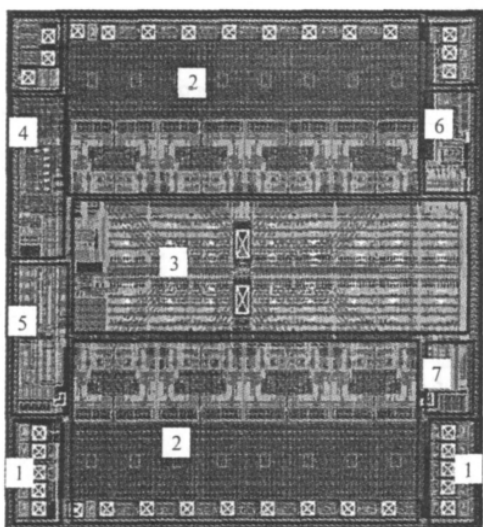
当输出电压上升时，情况与上述相反， $D$  会由于反馈电路调节而减小，引起输出电压下降。由此看见，当环路增益足够大时，输出电压最终会平衡，使得

$$V_o = \frac{V_{ref}}{d} \tag{1}$$

可见，boost 转换器通过反馈环路的输出电压直流值接近  $\frac{V_{ref}}{d}$ ，与输入电压无关。

### 3 芯片版图设计

本芯片根据 UMC 公司 2P3M\_0.5  $\mu m$ \_5V\_40V\_ BCDMOS 工艺的要求及版图设计准则，利用 Cadence 工具进行版图设计。芯片总体版图结构如图 4 所示。



数字标注的各部分模块分别是:1. 芯片功能引脚;2. 16 通道恒流输出引脚;3. 寄存器;4. 电压调节器;5. 数字电路模块;6. Trim(参数微调)模块;7. SPI(串行外设接口).

图 4 TV 背光恒流驱动芯片的总体版图  
Fig. 4 TV backlight constant current driver chip's overall layout

本芯片根据 UMC 公司 2P3M\_0.5  $\mu\text{m}$ \_5V\_40V\_BCDMOS 工艺的要求及版图设计准则,利用 Cadence 工具进行版图设计,实现了合理的布线结构和模块匹配.

#### 4 器件的测试

图 5 演示了 16 通道通过不同的 PWM 占空比设置,产生不同的亮度效果,亮度为中间最亮,并依次下降,旁边最暗,在 PWM 调节时,系统工作稳定,无振荡或其他不正常现象.通过测试可评估本设计在实际应用环境中的性能表现,以及外部环境对芯片性能的影响.由此,可以通过调节外部电路提高系统运行的稳定

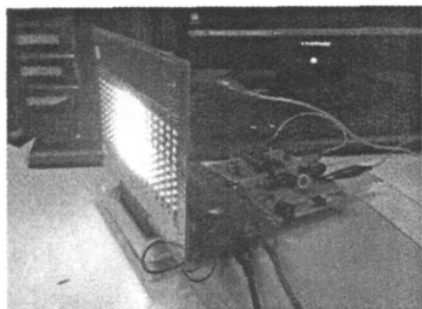


图 5 芯片演示实验效果图  
Fig. 5 The experimental results of the chip demo

性,同时也为芯片改版提供实验数据.电性能测试的结果见图 6.

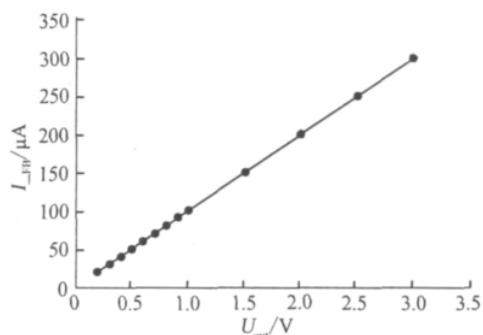


图 6  $I_{FB}$  随恒流输出端电压变化曲线  
Fig. 6 The relation between  $I_{FB}$  and constant current output voltage

图 6 的测试条件为:输出通道 CHO 电压从 0.2 V 上升至 3 V,其余输出通道接 5 V,每个通道输出电流 10 mA,前级反馈输入电压为 5 V, $R_{FB}$  接 10 k $\Omega$  电阻,从测试结果可见, $I_{FB}$  与 CHO 输出端成正比, $I_{FB} = V_{CHO}/10 \text{ k}\Omega$ ,电流比例与公式相符.

电流测试条件为电源电压接 24 V,16 输出端全导通,并接 0.6 V 电压,如图 7 所示(仿真只显示 4 路通道):芯片各路通道均有很好的恒流特性,在输出电压从 0.2 V 变化到 2 V 时,输出电流基本不变,且通道间电流基本相等(4 条曲线大致重合),有很好的通道间匹配性能.

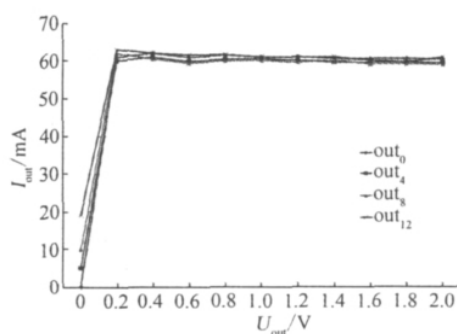


图 7 16 通道输出电流随输出电压的变化图  
Fig. 7 The relation between 16-channel output current and output voltage

#### 5 结 论

本文完成了 LCD TV 背光驱动芯片各个模块电

路设计、仿真和版图设计,对流片封装后芯片各项性能参数进行机台测试,达到预期指标。在随后量产测试阶段,也得到了很好的测试结果:正常工作条件下,芯片各个通道反馈电流误差较小;芯片片间误差、通道间误差极小;在显示效果上有良好的表现,符合了设计的要求。

在系统实际应用中,该 LED 驱动器的成品率高;极大地避免了终端用户使用过程中的失效风险,运行安全可靠;在国内处于领先地位,具有广阔的市场前景。

#### 参考文献:

- [1] 安平. 液晶彩色电视机易修精要[M]. 北京:人民邮电出版社,2009.
- [2] 陈元灯. LED 制造技术与应用[M]. 北京:电子工业出版社,

社,2009.

- [3] Akiya M, Nakashima S. High-precision MOS current mirror [C]//Solid-State and Electron Devices, IEEE Proceedings I. [s. l.]: IEEE, 1984: 170-175.
- [4] Mo Xichao, Zhang Yuanyue. Consecutive PWM driving video LED display system [C]//Circuits and Systems, Proceedings of 1997 IEEE International Symposium on, Hong Kong: IEEE, 1997: 1437-1439.
- [5] Chiu Chialin, Chen Kehorng. A high accuracy current-balanced control technique for LED backlight [C]//Power Electronics Specialists Conference, 2008. Rhodes: IEEE, 2008: 4202-4206.
- [6] Texas Instruments. Understanding boost power stages in switchmode power supplies [EB/OL]. [1999-05-15]. focus.ti.com/lit/an/slva061/slva061.pdf.

## An IC Design of Constant Current Driver with Voltage Output Feedback

HONG Ming, FENG Yong-jian\*, FU Ke-cheng

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** To the LED drivers applied in the field of LCD backlight, the traditional design of the DC-DC circuit is based on the maximum load to design the DC-DC power supplies. When there are deviations in the load, the system inefficient and fever, which lead to additional power loss. According to the deficiencies that traditional circuit can not dynamically adjust output voltage, a new type of LED driver design is introduced. The chip achieves a high grayscale display requirement, with constant current drive mode used and controlled by PWM digital module. The chip also provides a feedback current output which can be cascaded, with DC-DC converters, regulate DC-DC output voltage to ensure constant-current output voltage and restrict the power consumption increasing. The chip testing meets the design requirements, performance stable.

**Key words:** CMOS; TV backlight; DC-DC; boost