

文章编号: 1007-2780(2010)05-0713-05

场序彩色 LCoS 智能伽玛校正电路设计

耿卫东, 刘会刚, 刘艳艳, 商广辉, 金庆, 胡思捷, 全治臻

(南开大学 光电子薄膜器件与技术研究所, 光电子薄膜器件与技术天津市重点实验室,
光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071; E-mail: gengwd@nankai.edu.cn)

摘要: 基于数字控制的方式, 设计了一种 LCoS 多模式智能伽玛校正电路, 可以集成到场序彩色 LCoS 显示芯片内, 在系统 CPU 的控制下, 能够独立编程设置 RGB 各子场的 γ 校正曲线, 并能够在系统工作过程中进行 γ 校正的调节。采用了 10 位双电阻梯数模转换电路, 具有输出电压精度高, 电路结构简单, 功耗低等特点。文章给出了电路的内部结构、软件流程和测试结果。测试结果表明, 输出模拟电压在 0~5 V 时, 输出电压最大误差只有 3 mV。

关键词: 场序彩色; 伽玛校正; LCoS 芯片; 参考电压源

中图分类号: TN27; TP331.2 **文献标识码:** A

Circuit Design of Intelligent Gamma Correction for FSC-LCoS

GENG Wei-dong, LIU Hui-gang, LIU Yan-yan,

SHANG Guang-hui, JING Qing, HU Si-jie, QUAN Zhi-zhen

*(Institute of Photo-Electronics Thin Film Devices and Technique of Nankai University,**Key Laboratory of Photo-Electronics Thin Film Devices and Technique of Tianjin,**Key Laboratory of Opto-Electronic Information Science and Technology,**Ministry of Education, Tianjin 300071, China, E-mail: gengwd@nankai.edu.cn)*

Abstract: The circuit design of a multi-mode intelligent gamma correction for LCoS is introduced. It is based on the digital control method and can be integrated to the field sequential color LCoS chip. Under the control of the external CPU it has in-system programming feature and can be programmed independently to setup gamma correction curve of RGB sub-field. The circuit has adopted the 10 bit dual resistor ladder D/A converter and has advantages of high voltage accuracy, simple circuit structure and low power consumption. The internal structure of the circuit, software flow and experimental results are described. Test results show that the maximum error of the output voltage is only 3 mV when the output voltage range is 0 to 5 V.

Key words: field sequential color; gamma correction; LCoS chip; reference voltage source

1 引言

为了让显示器能够显现近似真实的自然景物图像, 现行的视频显示系统都需要 γ 校正过

程^[1-7]。流行的 γ 校正方法有两种: 一种是对显示系统的 γ 特性进行数字建模, 计算出校正后的视频驱动数据, 预先存储在存储器中, 显示过程中采用查表法实现图像的 γ 校正^[8]; 另一种方法是利

收稿日期: 2010-02-24; 修订日期: 2010-03-24

基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(No. 033600711)

作者简介: 耿卫东(1955-), 男, 河北沧州人, 教授, 研究领域包括平板显示技术、LCoS 微型显示系统和集成电路设计。

用驱动电路外围的精密电阻和运算放大器组成灰度级电压产生电路,提供多级参考电压源,与显示驱动电路一起实现图像信号的 γ 校正^[9]。第一种方法采用了数字校正,可以对每一个像素进行精确的校正运算,但是占用较大的存储空间^[10];第二种方法是最常用的一种方法,需要专门的灰度级电压产生电路,使得电路比较复杂,64级灰度至少需要10个运放做跟随器^[6],而且不容易同时实现对红绿蓝3种基色分别进行 γ 校正,并不适合 LCoS 微型显示系统的应用。

本文根据 FSC 模式 LCoS 微显示器对外围电路体积要求非常小的应用,提出一种全集成智能型 γ 校正方法,不仅能够为 γ 校正电路提供精确的参考电压,而且能够实现对红绿蓝3个子场进行独立的 γ 校正。该电路仅需要80个10位存储寄存器,由于采用了时分复用输出方式,对于256级灰度仅需要8个运放作为跟随器,体积和功耗大为减小。

2 智能伽玛校正电路总体结构与工作原理

所讨论的智能 γ 校正电路内部结构如图1所示,主要由串行数据接口电路、控制逻辑单元电路、多通道数据寄存器、 γ 校正子场编码电路、多通道数模转换器以及多通道缓冲器组成。电路在

模式识别信号 MS_0 和 MS_1 、子场公共反转信号 V_{com} 、使能信号 \overline{SEL} 以及帧同步信号 V_s 的控制下工作,SDA、SCK和SEL信号组成串行数据输入通道,可以采用I²C协议也可以采用SPI协议,便于和各种通用的CPU和DSP连接。

该电路具有多种工作模式,采用引脚编程和模式寄存器编程方法进行控制。 MS_1 和 MS_0 为内部上拉的模式控制引脚,可以连接到外部CPU的两个口线。当 $MS_1MS_0=00$ 时,为FSC显示模式; $MS_1MS_0=01$ 时为固定输出模式; $MS_1MS_0=10$ 时为现场修改模式; $MS_1MS_0=11$ 时,串行数据接口工作在HOST模式。在HOST模式下,不需要外部CPU的干预,可以直接从外部串行EEPROM中读入数据,根据控制逻辑单元电路内部的模式寄存器选择芯片工作模式。LCoS芯片上电复位后,控制电路首先把数据寄存器组清零,然后根据模式识别信号 MS_0 和 MS_1 的状态,初始化内部数据寄存器,一旦数据寄存器配置完成,控制电路就会采集视频帧同步信号 V_s 、 V_{COM} 信号和子场同步信号 V_{sub} ,在控制电路内部判断当前子场的状态,并输出控制信号 S_0 、 S_1 和 S_2 ,正确地选择一组数据写到数据锁存器中,然后拉高S信号,锁定数据锁存器内容,启动多路DAC转换器输出多路模拟电压。插入场寄存器组用来在场序彩色显示模式下根据显示器的需要插入黑场或白场。

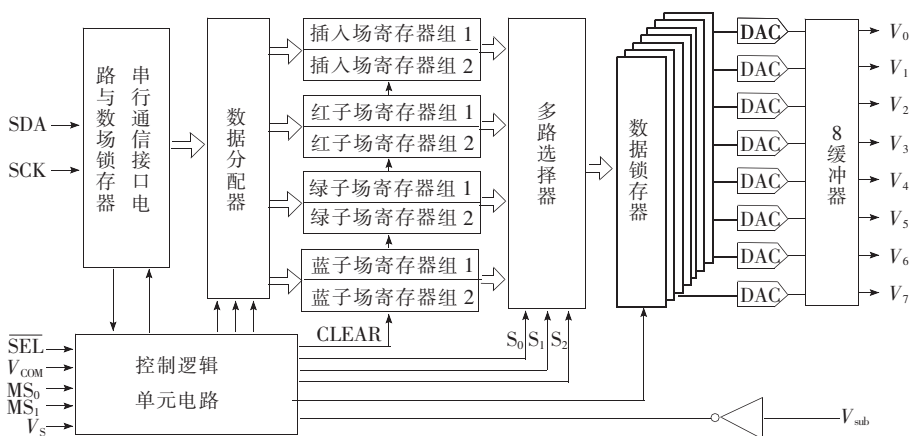


图1 PSC-LCoS的 γ 校正参考电压电路原理框图

Fig. 1 Block diagram of the reference voltage circuit for FSC-LCoS

这样实现 FSC-LCoS 芯片的逐场反场显示,只需要在反场信号 V_{com} 的跳变沿计算下一次重新锁存数据锁存器的时间 T_2 ,给出E信号启动AD转换器即可。后面的AD转换电路和输出缓冲器

只用一套,采用时分复用方式工作^[11]。该电路能够智能地提供 FSC-LCoS 显示器的 γ 校正参考电压,可以通过软件编程的方法,任意设定液晶的 γ 校正曲线,可以精确地实现任意子场正反场 γ 矫

正的形状和位置, 由于采用了高精度 ADC 电路, 输出电压精度很高。由于实现了 8 路电压的片上集成, 因此该电路采用固定输出模式也可以用于普通液晶显示器, 只要合理地设置各子场数据寄存器的值, 就可以很容易地实现红、绿、蓝 3 种颜色不同的 γ 校正曲线。

3 高精度高速 DAC 电路的设计

因为所设计的智能伽玛校正电路输出的模拟参考电压是由多路 DAC 直接把数字锁存器中的数字量转换成模拟电压, 输出电压的精度、稳定性等性能指标主要由 DAC 电路来实现, 所以 DAC 电路是设计上的关键所在。数模转换电路的设计需要综合考虑输出模拟电压的精度、转换时间、功耗和版图面积等, 由于该电路与 LCoS 芯片集成在一起, 在保证电压精度的前提下应首先考虑功耗和版图面积。

输出电压的精度由数字量的位数来决定, 实现 256 级灰度需要 8 位的 DAC。为了改善由于视频信号量化舍入误差对实际显示色彩深度的影响, 我们采用了 10 位的 DAC 设计, 模拟电压域在 0~5 V 范围时, 输出电压的精度高于 5 mV。DAC 的转换时间必须满足在显示屏写入时间内输出的模拟电压是稳定的, 对于 FSC-LCoS 每一个子场的显示有 3 个阶段: 写屏、液晶响应和点亮。实际上在写屏阶段结束后, 所有像素的开关器件关闭, 此时参考电压源处于空闲状态, 如图 2 所示的 T_c , 因此 T_c 限定了 DAC 转换的最小时间。图 2 中的 T_2 是逻辑控制电路根据 V_{com} 的跳变沿产生的可编程的锁存器刷新信号, T_1 是 ADC 转换时间。功耗的指标需考虑 LCoS 芯片整体功耗的要求, 尽可能采用低功耗设计。综合考虑上述因素, 为了减小版图面积, 结合 LCoS 芯片的特点, 设计中采用了一种改进的 10 位双电阻梯式数模转换电路。

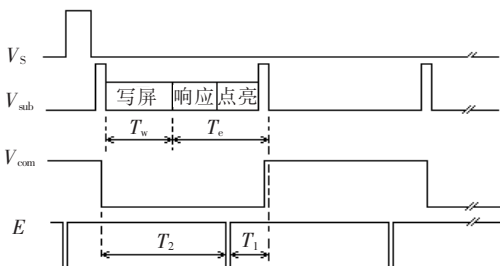


图 2 数据锁存器锁存信号波形图

Fig. 2 Waveforms of data latches enable signal

传统的二进制电阻梯数模转换器需要 2^N 个电阻 (N 是输入数字量的位数)。为了减少电阻个数和缩小版图面积, 近年来双电阻梯结构在高分辨率数模转换器中得到了广泛的应用。双电阻梯式数模转换电路的结构由两部分组成, 分别是粗分电阻级和细分电阻级, 这种结构只需要 $2^{N_c} + 2^{N_f}$ 个电阻 (N_c 和 N_f 分别是粗分和细分级的输入数字量位数, 且 $N_c + N_f = N$)。在我们设计的电路中, 主要有两点改进:

(1) 把粗分电阻级的电阻串分为 4 段, 利用 2~4 译码器进行分段选通, 利用 4~16 译码器控制相邻电压选择电路, 大幅度减少了所需的模拟开关的数量, 与文献[12]的数据相比, 所用的模拟开关数节省了 1/4, 有效地减小了版图面积。输入数据的高 6 位唯一地确定了一组相邻电压, 再经细分电阻级产生 16 级细分台阶电压。

(2) 改进细分电阻级, 适当增加细分电阻级中单个电阻的阻值, 减小其对粗分电阻级的负载效应, 另外在细分电阻级每两个电阻之间加入一个虚拟 (Dummy) 开关, 使得虚拟开关的导通电阻和相邻电压产生电路中的开关导通电阻相等, 从而提高了数模转换电路的非线性误差。

限于篇幅, 图 3 仅给出了电路框图, 详细电路请参考文献[13]。

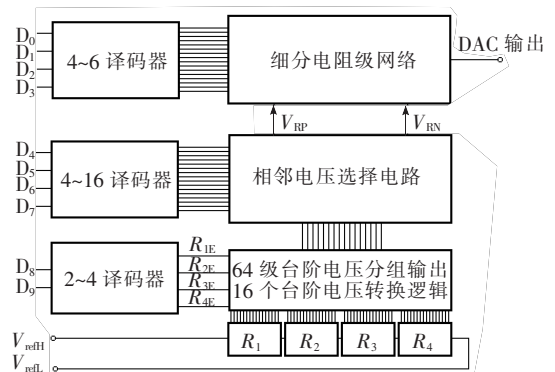


图 3 10 位双电阻梯 DAC 结构框图

Fig. 3 Block diagram of 10 bit dual resistor ladder D/A converter

图 3 中外部参考电压 V_{refH} 和 V_{refL} 加载粗分电阻串两端, 粗分电阻串分成 4 组, 每组输出 16 个电压, 形成 64 级台阶电压。在粗分电阻级电路中, 由 4 组电阻分压网络串联形成 64 级台阶电压, 每一组都有 16 级台阶电压, 数据锁存器中相应的 10 位数字量其高 2 位 D_9 和 D_8 确定了哪一

组 16 级台阶电压有效,经 2~4 译码器输出的 R_{XE} 驱动 64 级台阶电压分组输出逻辑,选定某一组 16 级台阶电压输出到相邻电压选择电路。相邻电压选择电路由 16 组开关组成,受输入数字量的 $D_4 \sim D_7$ 位的控制,从输入的 16 个台阶电压中选择两个电压值 V_{RP} 和 V_{RN} ($V_{RP} > V_{RN}$) 输出到细分电阻级电路,并且必须保证输出的两个电压值是台阶电压中的相邻电压。也就是说输入数字量的高 6 位将输出电压精确地定于 V_{RP} 与 V_{RN} 之间。细分电阻级电路由一串细分电阻组成,为了补偿开关电路的压降损失,在细分电阻级各个串联电阻之间设置了虚拟开关,细分电阻电路在输入数字量的低 4 位的控制下,经过一个 4~16 译码器驱动内部的开关矩阵,从 V_{RP} 与 V_{RN} 之间输出一个与 $D_0 D_1 D_2 D_3$ 相对应的模拟电压,再经过后面的驱动缓冲器接到 LCoS 像素的数据驱动器电路。从上面的分析可以看出,双电阻梯 DAC 在 10 bit 输入数据量稳定后,各开关器件的状态一旦稳定后既处于静态,全部转换的过程就是开关器件的建立时间。

4 软件流程

前面已经介绍,该智能 γ 矫正电路有多种工作模式,对于 FSC-LCoS 芯片, $MS_1 MS_0 = 00$, 上电后会等待 I^2C 接口的命令,在系统 CPU 的控制

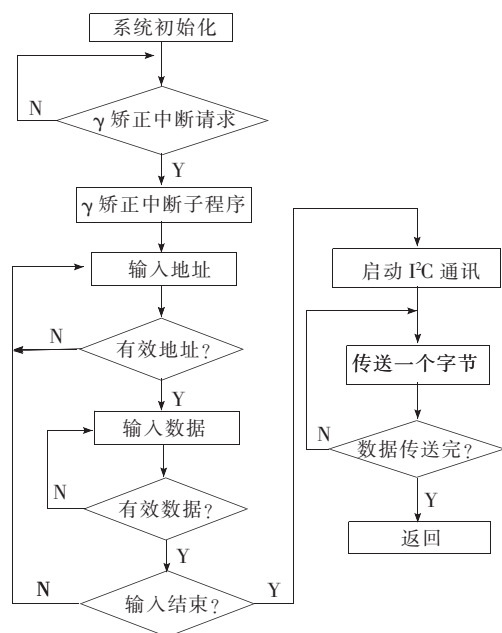


图 4 在系统 γ 调整软件流程图

Fig. 4 Flow chart of gamma correction ISP

下,初始化内部所有的子场数据寄存器,然后在子场同步信号和 V_{com} 信号的控制下锁定子场顺序。如果需要现场修改模式,可以利用显示系统的 OSD 人机界面面向系统主控 CPU 请求中断,CPU 响应中断后,会提示操作者输入需要修改的数据寄存器地址和数据,并缓存输入的数据,数据输入完成并确认后,CPU 会把 $MS_1 MS_0$ 设置为 10 状态,然后启动 I^2C 通讯接口将数据写到指定的地址,图 4 是现场修改模式软件流程图。

5 芯片测试与分析

完成智能 γ 矫正电路的前后端设计后,采用 Chartered 0.35 μm CMOS 工艺进行了流片实验,搭建了测试电路,设定每路模拟电压的输出范围为 0~5 V。采用 AT89C2051 单片机模拟 I^2C 接口与该电路进行通讯,并随机地向数据存储寄存器写入数据(数据范围 0~ 2^{10}),用 KEITHLEY 2000 数字台式万用表对电路的输出进行了测试,测试结果如表 1 所示(为了叙述方便,仅以一路 ADC 为例)。测试结果表明,在 0~5 V 范围内最大误差为 3 mV,数模转换电路的非线性误差为 0.6 LSB。整个电源芯片的版图面积为 1.8 mm \times 1.7 mm。可编程电压源数字电路工作电压是 3.3 V,模拟电路工作电压是 5 V,芯片工作电流为 0.9 mA。

表 1 数据寄存器内容、模拟电压理论值和测试值

Table 1 Register set value and output voltage of the theory and measurements

二进制代码	电压输出(V)		二进制代码	电压输出(V)	
	测量值	理论值		测量值	理论值
000000000	0.002	0	1000001011	2.554	2.554
0000001001	0.045	0.044	1000111111	2.808	2.808
0000010011	0.094	0.093	1001101111	3.042	3.042
0000111011	0.288	0.288	1010111100	3.418	3.418
0010010011	0.717	0.717	1011111000	3.711	3.711
0010111011	0.913	0.913	1101101110	4.287	4.287
0011011110	1.084	1.084	1111000100	4.707	4.707
0011111100	1.230	1.230	1111101000	4.883	4.883
0100110110	1.514	1.514	1111110110	4.950	4.951
0110011011	2.006	2.006	1111111010	4.969	4.971
0110110100	2.129	2.129	1111111111	4.992	4.995

6 结 论

设计了一种智能 γ 矫正电路, 采用数字控制电源的方式, 可以集成到场序彩色 LCoS 显示芯片

中, 在系统 CPU 的控制下, 能够独立编程设置 RGB 各子场的 γ 矫正曲线, 并能够在系统工作过程中进行 γ 矫正调节, 具有输出电压精度高、电路简单、功耗低等特点。

参 考 文 献:

[1] 姜宝光, 穆全全, 曹召良, 等. 液晶波前校正器校正水平方向上的大气湍流 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(3): 396-398.

[2] 洪俊杰, 吴贵兴, 黄显甫, 等. 基于 FPGA 的中尺寸数字 TFT-LCD 测试装置设计 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(2): 288-293.

[3] 曹召良, 穆全全, 胡立发, 等. 液晶波前校正器位相调制非线性及闭环校正研究 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(2): 157-162.

[4] 王志军, 朱修剑, 李荣玉. TFT-LCD 的新型 VA 八畴驱动技术 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(3): 372-376.

[5] Piao Yan. Luminance parameters in full color LED display [J]. *Chin. J. Liquid Crystals and Displays*, 2007, 22(5): 503-506.

[6] 杨虹, 彭俊彪, 曹塘. OLED/LCD 器件中的 γ 矫正 [J]. 发光学报, 2004, 25(2): 207-211.

[7] 何国兴. CRT 显示器色度校正的单参数模型 [J]. 液晶与显示, 2007, 22(4): 448-453.

[8] 罗菊华, 杨传仁, 张继华, 等. 基于 FPGA 的平板显示器件驱动电路的设计 [J]. 液晶与显示, 2006, 21(6): 680-685.

[9] 杨虹, 唐志勇, 凌志华, 等. VGA TFT LCD 的驱动电路设计 [J]. 液晶与显示, 2001, 16(1): 52-58.

[10] 罗菊华, 杨传仁, 张继华. 基于 ADSP-21161N 的 TFT-LCD 驱动电路的设计 [J]. 现代显示, 2006, 67: 31-34.

[11] 刘会刚, 耿卫东, 代永平, 等. LCoS 芯片集成可编程参考电压源的数字电路设计 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(3): 291-295.

[12] 朱文彬, 彭云峰, 严伟, 等. 一种 10 位 50MHz 电阻分压型 D-A 转换器 [J]. 微电子学, 2007, 37(2): 221-222.

[13] 刘会刚. 双模式可编程电压源及其在 LCoS 中的应用研究[D]. 天津: 南开大学, 2009.

常见的废弃单位及换算因数

单位名称	符 号	换算因子
英寸	in	1 in=2.54 cm
托	Torr	1 Torr=133.322 Pa
毫米汞柱	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
毫米水柱	mmH ₂ O	1 mmH ₂ O=9.80665 Pa
西西	cc	1 cc=1 mL
熙提	sb	1 sb=10 ⁴ cd/m ²
尼特	nt	1 nt=1 cd/m ²
屈光度	D	1 D=1 m ⁻¹
体积克分子浓度	M	1 M=1 mol/L
标准大气压	atm	1 atm=101.325 kPa