

一种乱序 PWM 控制的 LED 恒流驱动芯片

赵 肃, 王卫东, 何志毅

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 基于 CSMC 0.5 μm 标准 CMOS 工艺, 设计了一款乱序 PWM 控制的 LED 恒流驱动芯片。芯片电路使用乱序 PWM 技术提高 LED 的刷新速率, 采用 PWM 合成技术提高 LED 的色彩灰度等级, 利用恒流驱动技术降低 LED 的光衰。在电源电压为 3V~5.5V、温度 -40~85 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 基于 Cadence 平台中的 Spectre 进行仿真验证。仿真结果表明: LED 的刷新速率跟随输入的影像数据大幅度提高; PWM 合成模式实现 14 位 LED 显示灰度, 点校正模式可以完成 6 位的色度修正; 输出电流误差为 $\pm 5\%$ 。

关键词: 乱序 PWM; PWM 合成; 恒流驱动

中图分类号: TN710.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)09-0137-04

A Constant Current LED Driver with Disordered PWM Control

ZHAO Su, WANG Wei-dong, HE Zhi-yi

(School of Information and Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Based on the CSMC 0.5 μm standard CMOS technology, designed a constant LED driver with disordered PWM control. The chip use disordered PWM technology to improve the LED refresh rate, use PWM synthesis technology to improve the LED grayscale, use constant current driving technology to reduce the LED light declining. At 3V~5.5V supply voltage, -40 $^{\circ}\text{C}$ ~85 $^{\circ}\text{C}$, the circuit was simulated on Cadence spectre, the results show that following the input image data, LED refresh rate improved greatly; PWM synthesis model achieved 14 bits grayscale; dot correction mode achieved 6-bit chrominance correction; output current error accuracy is $\pm 5\%$.

Key words: disorder of PWM; PWM synthesis; constant current drive

1 引言

近年来, 随着半导体显示技术的快速发展, LED 也因其可靠性高、亮度高、使用寿命长、环境适应能力强等优点, 被广泛应用于移动电话、掌上电脑以及室内外 LED 大屏显示等用途。

LED 的显示质量直接取决于 LED 驱动芯片的优劣。当前, 部分 PWM 控制的 LED 恒压驱动芯片, 由于刷屏速度较低而会带给人眼闪烁, 同时恒压驱动技术会增加 LED 的光衰, 降低 LED 的使用寿命。另外, 部分采用 S-PWM 技术的恒流驱动芯片受环境的影响使 LED 显示呈现色度不均匀现象^[1,4]。针对上述两方面的问题, 设计了一款乱序 PWM 控制

的 LED 恒流驱动芯片, 该芯片采用了乱序 PWM、PWM 合成、点校正以及恒流驱动技术, 8×3 (R、G、B) 个输出通道的电流可以通过外接电阻进行调节, 最高可达 60mA。

2 电路设计与分析

本文设计的乱序 PWM 控制的 LED 恒流驱动芯片, 主要用于 LED 大屏显示中。根据其系统架构, 芯片首先完成影像、校正数据的接收和存储, 生成两种灰度等级 (6 位、8 位) 的 PWM 信号, 并根据数据的传送模式选择进行 PWM 合成或点校正功能, 然后利用前一步骤所产生的 PWM 信号去控制恒流电路模块, 产生用于驱动 LED 的电流信号^[2]。根据上

收稿日期: 2012-11-08; 修回日期: 2012-12-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61077036)

面分析,整体电路分为乱序 PWM 的产生、PWM 合成或点校正、恒流驱动等三部分电路。

2.1 乱序 PWM 的产生

乱序 PWM 的产生原理是在不改变整个 PWM 信号占空比的前提下,将一个周期的 PWM 波形分割成数量随输入影像数据变化的多个小 PWM 信号,以提高 LED 的刷新速率,降低闪烁感。根据上述原理完成电路的架构,整个 PWM 的生成电路由 M 序列计数器、加法比较器两部分构成。

2.1.1 M 序列计数器

为了实现乱序计数的目的,在 M 序列的基础上设计了一种新型的 M 序列计数器。M 序列是一种非连续的计数方式,如图 1 所示。上面部分波形是普通 PWM,其占空比 50%;下面部分为 M 序列计数器形成的 PWM 波形,整个 PWM 波形分为 3 个部分,但占空比之和仍然是 50%。因此,M 序列计数器所形成的 PWM 与普通的 PWM 结果相同,并且这种方法可以降低低阶灰度应用下的闪烁情况,极大地提高 LED 显示的刷新速率。

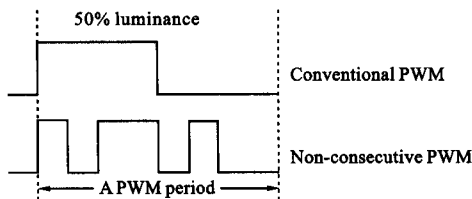


图 1 非连续的 PWM 信号

一般情况下, n 级线性反馈逻辑表达式为:

$$a_n = c_1 a_{n-1} \oplus c_2 a_{n-2} \oplus c_3 a_{n-3} \oplus \dots \oplus c_n a_0 \\ = \sum_{i=1}^n c_i a_{n-i} \quad (1)$$

其中 c_i 表示反馈的连接状态。 $c_i = 1$ 时表示连通状态,在第 $n-i$ 级输出加入反馈; $c_i = 0$ 表示未连通,在第 $n-i$ 级输出未加入反馈^[3]。它们之间为异或关系。整理可得出线性反馈移位寄存器的特征多项式如表 1 所示。

表 1 线性反馈移位寄存器的特征多项式

n	本源多项式系数的 8 进制表示	代数式 $f(x)$
2	7	$x^2 + x + 1$
3	13	$x^3 + x + 1$
4	23	$x^4 + x + 1$
5	45	$x^5 + x^2 + 1$
6	103	$x^6 + x + 1$
7	211	$x^7 + x^3 + 1$
8	435	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$
14	42103	$X^{14} + x^{10} + x^6 + x + 1$

$$f(x) = \sum_{i=0}^n c_i x^i \quad (2)$$

综上所述,可以完成模为 $2^n - 1$ 且乱序的计数器。但是按照设计要求,M 序列计数器本身的计数模长应该是 2^n ,即计数为少一位。通过分析,由于反馈网络是异或结构,当各触发器的状态处于 0 时,其输出就为 0。因此,最长线性序列信号发生器是在全零状态不具有自启动特性,即忽略了 0000...0(全零)状态。故而,需要把全零状态也加入到之前设计的模为 $2^n - 1$ 的乱序计数器中来实现计数器的 2^n 计数。为了使其具有自启动特性,必须修改激励函数,使其处于全零状态时,能自动纳处 00000...1 状态。经过计算和检验,可将其反馈函数改为:

$$F(x) = f(x) \oplus \overline{Q_{n-1}} \cdot \overline{Q_{n-2}} \cdot \overline{Q_{n-3}} \dots \overline{Q_1} \quad (3)$$

根据上面函数构造电路完成模为 2^n 的乱序 M 序列计数器的设计,其电路如图 2 所示。

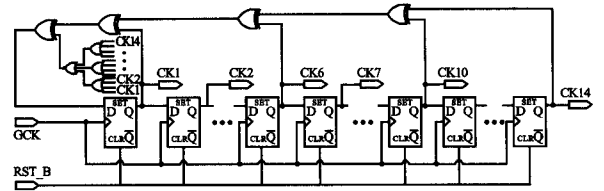


图 2 计数器部分原理图

2.1.2 加法比较器

为了适应前面设计的 M 序列计数器的需要,基于加法器设计了一款特殊比较器。比较器是为了比较 A 与 B 的大小,也可以看成判断 $A - B$ 与 0 的关系。通过等价变化转换为判断 $A + (-B)$ 与 0 的关系,即加法的形式,这样就可以利用全加器来实现这一功能。由上面的推导分析,可以采用全加器代替比较器,并将进位端口作为输出的方式来实现比较器的设计,即加法比较器。具体的电路设计如图 3 所示。

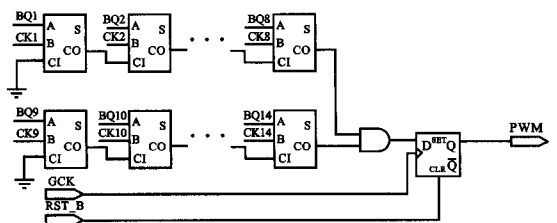


图 3 比较器部分原理图

如图 3 所示存在两组加法比较器电路,其中一组为 6 位的加法比较器,另外一组为 8 位的加法比较器。电路的输出为 6 位和 8 位乱序 PWM 信号,之后进行相与操作,保证两者均为“1”的时候输出;最

后将前面得到的新的乱序 PWM 信号送入触发器中,在锁存信号的控制下输出。

2.2 PWM 合成或点校正

这款 LED 驱动芯片针对应用环境的不同设计了两种模式供选择:PWM 合成模式和点校正模式。一般情况下,选用 PWM 合成模式将乱序 PWM 生成模块生成的 6 位和 8 位灰度等级的 PWM 信号合成为 14 位色彩灰度等级的 PWM 信号,以丰富 LED 显示色彩,提高细腻度;而在某些特殊环境中,受气温等条件的影响,LED 的显示出现较大偏差,此时则可以通过点校正模式来修正 LED 显示画面的色度。

为了方便 PWM 合成以及点校正模式的切换,添加设计了数据输入选择端口 LAT_B 和数据更新端口 SELBK。芯片工作时,通过数据的传输模式以及 LAT_B、SELBK 自动识别、选择相应的工作模式。

2.2.1 点校正模式

点校正可以大幅度提高 LED 显示的均匀度,并延长 LED 屏的“悦眼寿命”,减少资源浪费。主要可分为原始数据采集、校正数据产生、驱动控制和采集系统与控制系统的结合四部分。在该模式下,6 位作为校正数据,8 位作为影像数据。芯片工作时,其数据的发送与 SELBK、LAT_B 端口的关系如图 4 所示。

①设定选择端 SELBK 为低电平,这时输入 6 位的校正数据;

②设定数据锁存 LAT_B 为高电平时,更新校正数据;

③设定选择端 SELBK 为高电平,输入 8 位灰度数据;

④置锁存信号 LAT_B 为高电平,更新灰度数据;

⑤可重复③④两步骤。

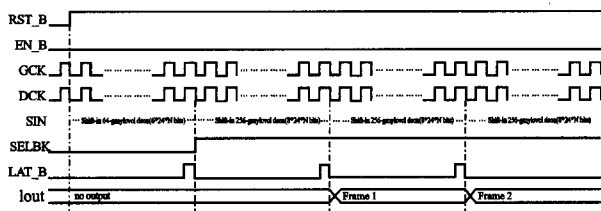


图4 当6位校正数据,8位是灰度数据时的时序图

2.2.2 PWM 合成模式

PWM 合成就是将两个灰度等级的数据组合成

为一种更高阶灰度等级的新数据的过程。这一模式中,6 位和 8 位均作为灰度数据。相应的时序如图 5 所示。

①设定选择端口 SELBK 为低电平,这时输入 6 位灰度数据;

②设定选择端口 SELBK 为高电平,这时输入 8 位灰度数据;

③置锁存信号 LAT_B 为高电平时,同时更新 6 位和 8 位灰度数据;

④可重复①至③。

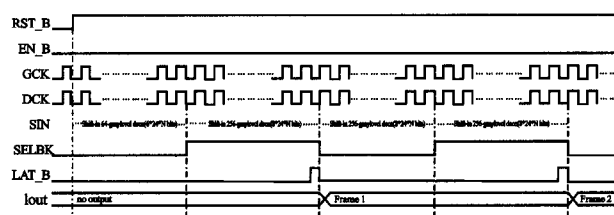


图5 当6位和8位都是灰度数据时的时序图

2.3 恒流驱动电路

LED 作为一种电流器件,受驱动电流的影响大于电压的影响。为了减小 LED 光衰并延长其使用寿命,设计了一款高精度的恒流驱动模块。该模块利用 NMOS 和运算放大器的共同作用来获得精准的输出电流,同时可以通过调节外接电阻的大小来调整输出电流^[4],可调范围是 5~60mA。该恒流驱动电路的原理如图 6 所示。

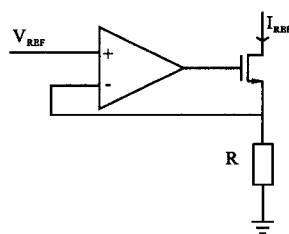


图6 恒流驱动电路原理图

3 仿真测试与结果

基于 CSMC 0.5 μ m 标准 CMOS 工艺下,利用 Cadence 平台中的 Spectre 仿真器,在电源电压为 3V~5.5V、温度为 -40~85 $^{\circ}$ C 的条件下进行仿真验证。表 2 为 T=-40~85 $^{\circ}$ C, Vdd=4.5V~5.5V, R=620 Ω 时,恒流驱动电路的输出电流以及其变化范围。

经过反复调试和各方面的性能测试,包括温度、电压等因素对它的影响,工艺角 tt、ff、ss、fs、sf 电流偏移幅度都在 $\pm 5\%$ 以内。

表 2 恒流驱动电路的输出电流及变化范围

工艺角	$I_{\max}$ (mA)	$I_{\min}$ (mA)	ΔI (%)
tt	44.7992	43.7646	2.3364
ff	44.5033	43.4547	2.3843
ss	45.2412	44.2529	2.2086
fs	44.747	43.815	2.1047
sf	44.9157	43.7739	2.5748

图 7 为整体电路的仿真波形. 从中可以看出, 当 SELBK 为低电平时, 输入的是 6 位的灰度数据; 当它从低电平跳变到高电平时, 电路输入 8 位灰度数据; 当锁存信号来临时, 输出 14 位的灰度数据, 这样就实现了 6+8 位的灰度等级. 还有一种为 6 位作为校正数据, 而 8 位作为灰度数据, 锁存信号来临时, 则可输出 8 位灰度数据. 这样既可以实现用 PWM 合成方式来完成 14 位的 PWM 灰度等级, 也可以 6 位作为校正数据, 只使用 8 位灰度数据, 以此来完成 6 位数据的修正.

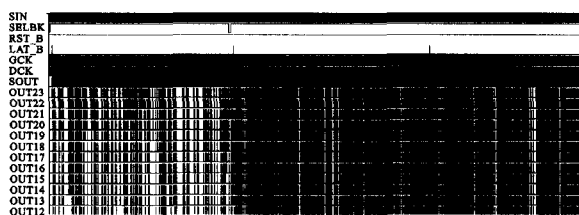


图 7 输出的 PWM 波形

4 结束语

文中结合乱序 PWM、PWM 合成以及恒流驱动

等技术, 设计了一款新型的 LED 驱动芯片. 相对于市面上的同类产品, 其具有更高的刷新率、更好的色彩均匀度、更小的色衰和更长的使用寿命. 另外, 24 通道输出可以提高芯片的利用率, 主要运用于室内大屏显示.

参考文献:

- [1] 权进国, 卢恒惠, 田道琛. 十六路 LED 恒流驱动芯片, 中国集成电路, 2009, 18(11): 15-25.
- [2] Yi Wang, Mingkun Gao, Donghui Guo, Design of 16-bits constant-current LED driver[C]// Proceeding of the international conference on Anti-Counterfeiting Security and Identification in Communication. [s. l.]: IEEE, 2010.
- [3] 吴先用, 邹学玉. 一种 M 序列伪码发生器的产生方法, 测控技术, 2003, 22(9): 56-58.
- [4] 胡思静, 冯勇建. 一种恒流输出大屏幕 LED 驱动 CMOS 芯片的电路设计, 电子测试, 2009(6): 17-24.

作者简介:

赵 肃 男, (1986-), 研究生. 研究方向为数模混合集成电路的研究与设计.

王卫东 男, (1956-), 教授, 中国通信学会高级会员. 研究方向为电子电路与系统的教学与研究工作.

何志毅 男, (1965-), 教授, 博士. 研究方向为发光器件和计算机图形.

(上接第 136 页)

参考文献:

- [1] 李智群, 王志功. 射频集成电路与系统[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 池保勇, 余志平, 石秉学. CMOS 射频集成电路分析与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [3] Kanaya H, Koga N, Pokharel RK, et al. A low flicker, low leakage direct conversion CMOS mixer for 5 GHz applications[C]// Proc Asia Pacific Microwave Conference (APMC). [s. l.]: IEEE, 2009: 1631-1634.
- [4] Ramesh K Pokharel, Y Yano, Abdelghany M A, et al. Design of high linearity low flicker noise 5.2 GHz down-conversion mixer for direct conversion receiver[J]. IEEE Circuits and Systems, 2010(11): 64-67.
- [5] Xu Qianlong, Lai Zongsheng, Shi Chunqi, et al. A 5.15-5.825GHz CMOS down-conversion mixer for WLAN 802.11a[J]. IEEE Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011(11): 1-4.
- [6] Tsividis Y. Operation and Modeling of the MOS Solid-State Circuits[J]. IEEE Journal of solid-state circuits, 2001, 36(1): 102-109.
- [7] Guo B-Q, Wen G-J. Periodic time-varying noise in current-commutating CMOS mixer [J]. Progress Elec Res, 2011(117): 283-298.

作者简介:

段吉海 男, (1964-), 博士, 教授, 研究生导师. 研究方向为射频集成电路设计.

雷耀勇 男, (1987-), 硕士研究生. 研究方向为射频集成电路设计.