

一种高精度脉宽调制信号移相电路设计

罗超, 戴庆元

(上海交通大学微纳米研究院, 上海 200240)

摘要:设计了一种基于 $1.5\ \mu\text{m}$ BiCMOS 工艺下的脉宽调制信号移相电路。该电路可应用于发光二极管驱动芯片中, 对调光脉宽调制信号进行移相。电路设计有三种模式以应用在不同的场合, 可进行零度、 180° 和任意度的移相。测试结果表明: 在 $100\ \text{Hz}$ 到 $20\ \text{kHz}$ 脉宽调制信号下, 电路的三种模式都能保证信号的精度与移相的稳定。

关键词:脉宽调制; 移相; 发光二极管驱动

中图分类号: TM 914 文献标识码: A 文章编号: 1002-087 X(2013)01-0115-03

Design of a PWM signal phase shift circuit

LUO Chao, DAI Qing-yuan

(Research Institute of Micro/Nano Science and Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A pulse width modulation signal phase shift circuit based on $1.5\ \mu\text{m}$ BiCMOS process was designed. This circuit can be used in LED driver chip to shift the phase of the dimming PWM signal. The circuit had three different modes to be adapted in different situation, shifting 0° , 180° or any degree of phase. The test results show that, at $100\ \text{Hz}$ to $20\ \text{kHz}$ PWM signal, the circuit's three modes work fine with precision and stability.

Key words: PWM; phase shift; LED driver

脉宽调制 (PWM) 信号在电路设计应用中有着广泛的应用, 在发光二极管 (LED) 驱动电路中经常用来调节光的亮度。在 PWM 信号为高时, 发光二极管通电发光, 在 PWM 信号为低时, 发光二极管关掉不发光, 使得 LED 管的平均亮度与 PWM 信号的占空比成线性关系。当 PWM 信号的频率大约高于 $60\ \text{Hz}$ 时, 人眼就感觉不到闪烁, 而利用 PWM 的脉宽的宽度来调节光的亮度具有极高的线性度。

对于 PWM 信号的移相主要应用在多 LED 驱动芯片中或多通道的 LED 驱动芯片中。如今大尺寸的 LED 背光彩电与显示器越来越多, 为了满足大屏的需求, LED 驱动芯片就会需要两颗或多颗。对调光 PWM 信号进行移相, 一方面可以使屏幕的亮度更加均匀, 另一方面可以使前级供电电流的峰值变小, 减小电磁干扰, 提高系统的工作效率。

本文设计了一种多模式的移相电路, A 模式: 在单颗驱动芯片应用下, 不进行移相; B 模式: 两个芯片工作下, 移相 180° ; C 模式: 三个或更多芯片的情况下, 可以通过设定 RC 电路来任意调节移相度数。

1 电路设计与原理分析

本文设计分为三个模块, 分别为模式选择、高频振荡器与 PWM 再生成电路。模式选择通过判定芯片 MODE 引脚是接地、 V_{CC} 还是 RC 电路分别选择模式 A、B 或 C, 其中接 RC 电路是通过电阻 R 接到 V_{CC} , 通过电容 C 接到地。高频振荡为 PWM 再生成电路中的计数器提供高频时钟信号, 振荡频率设

计在 $2\ \text{MHz}$ 。PWM 再生成电路由计数器、寄存器与比较器电路组成, 在适当时候把移相后的 PWM 信号置高或置低, 输出供给芯片内部作控制用。

1.1 模式选择电路

模式的选择由 MODE 引脚决定, MODE 接到地, 选择 A 模式, 不移相。MODE 接到 V_{CC} , 选择 B 模式, 移相 180° 。MODE 通过电阻接到 V_{CC} , 又通过电容接到地选择 C 模式, 移相度数由 RC 时间常数决定。A 和 B 模式很好判定, 但在 C 模式下, 在电路工作前 MODE 的电平很可能已经达到了 V_{CC} , 或是接近 0 电平, 容易引起误判断。

为了避免误判断, 电路的基本思想是, 在模式判定前从 MODE 引脚拉一段时间的电流, 如果接的是 V_{CC} , 由于 V_{CC} 的供电能力较强, MODE 的电平将仍是 V_{CC} , 判断为 B 模式, 同时把 A 和 C 模式锁定 (即再也不会判断为 A 或 C 模式)。如果接的是 RC 或是地, 在拉电流时, MODE 都会是 0 电平, 先会判断为 A 模式, 但不锁定 C 模式。但在停止拉电流后, MODE 电压上升, 当超过一个参考电平 V_A ($0.5\ \text{V}$), 便判断为 C 模式, 把 A 模式锁定。如果 MODE 接地, 则 MODE 会一直为 0 V, 判断为 A 模式。模式互锁的情况是: B 模式锁定其他模式, 但不会被其他模式锁定, 所以只要 MODE 电平一旦达到 V_{CC} 就会被判为 B 模式, 无论之前处于何种模式下。在进入 C 模式下, 锁定 A 模式, 但不锁定 B 模式。即便如此, 在接 RC (C 模式) 的情况下, 模式判定也不会误判断进入 B 模式。因为在 C 模式下, 一旦 MODE 电平达到另一个参考电平 V_B ($1.25\ \text{V}$), 便会放电, 直到下一个 PWM 上升沿进行充电。这部分功能由 PWM 再生成电路完成, 在后面章节有详细介绍。

收稿日期: 2012-06-16

作者简介: 罗超 (1987—), 男, 湖南省人, 硕士研究生, 主要研究方向为模拟集成电路设计。

具体的实现电路如图 1 所示。图中 M1-M3 构成一个简单的电流偏置电路。EN 为使能和置位信号,在 EN 为低时,电路从 MODE 引脚拉电流,同时把锁存器初始化。Q1、Q2、M7-M11 组成一个 V_{CC} 比较电路。当 MODE 达到或接近 V_{CC} 的电平值时, M9 的栅源压差的绝对值 $|V_{GS}| < |V_{THP}|$, 不导通,使得 B 为高,通过 M12 把比较器的输出拉低,再通过或非门与锁存器把 A 与 C 都置低。当 MODE 接电阻到 V_{CC} 接电容到地时,在 EN 为低时, M6 导通,把 MODE 拉低, B 被置低,此时可能会被判断为 A 模式。但当 EN 为高了, M6 截止,由于 V_{CC} 通过电阻对电容充电, MODE 一旦高于比较器的参考电平 V_A , 锁存器把 C 置高并锁住。在 C 模式下, MODE 一旦高于 V_B (1.25 V) 就会被拉低,但由于 C 被锁住,所以不会进入 A 模式。如果 MODE 一直接地, B 和 C 都为低,那么判断就会是 A 模式。

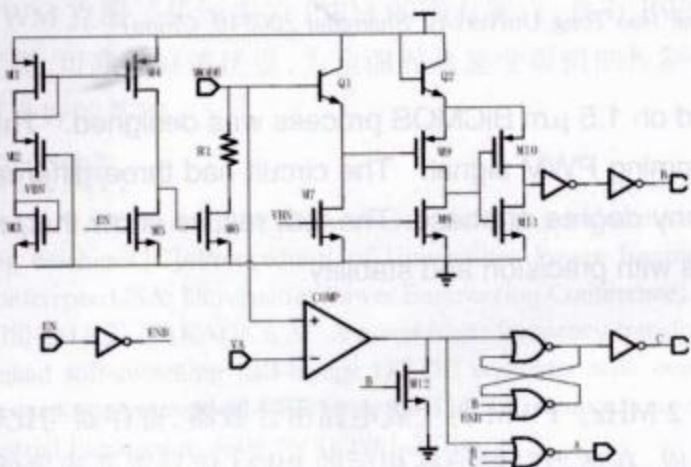


图 1 模式选择电路

1.2 高频振荡器

高频振荡器在 A 模式下不工作,在 B 和 C 模式下为计数器提供时钟信号。电路结构参考了文献[1]中的设计。具体电路如图 2 所示。

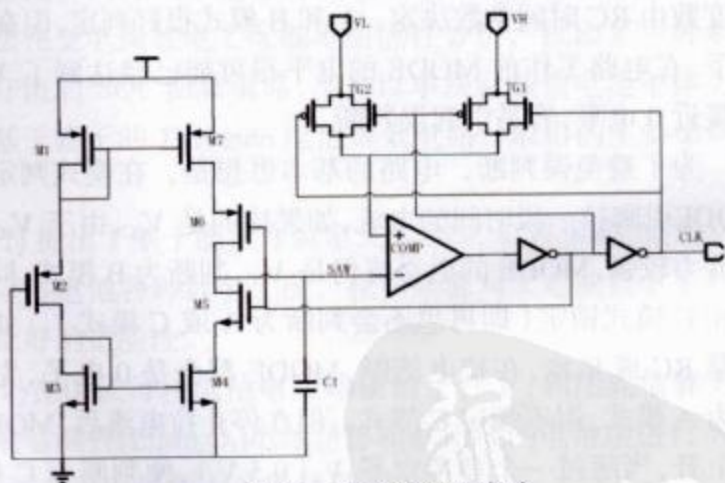


图 2 高频振荡器电路

M1-M7 构成对电容充放电的电流源。参考电平 $V_H > V_L$ 。当电容 C_1 上的电压小于比较器的正端电压时,比较器输出高,传输门 TG_1 导通 TG_2 截止,比较器的正端电压为较高的电平 V_H 。同时, M6 导通 M5 截止,由 M7 对电容进行恒流充电使电容上的电压线性上升。当电容 C_1 上的电压高于 V_H , 比较器输出低,传输门的状态变为 TG_2 导通 TG_1 截止,比较器的正端输入电压变为较低电平 V_L 。同时, M5 导通 M6 截止,由 M4 对电容进行恒流放电。当电容电压值低于 V_L 后,振荡器重复上

述过程,CLK 输出时钟方波信号。

在振荡器稳定输出方波时,电容在一个周期中的充电时间为:

$$T_{\text{charge}} = \frac{(V_H - V_L)C_1}{I_{M7}} \quad (1)$$

式中: I_{M7} 为对电容充电时晶体管 M7 沟道电流。放电时间为:

$$T_{\text{discharge}} = \frac{(V_H - V_L)C_1}{I_{M4}} \quad (2)$$

式中: I_{M4} 为对电容充电时晶体管 M4 沟道电流。振荡器的周期为充电与放电时间之和:

$$T = T_{\text{charge}} + T_{\text{discharge}} = (V_H - V_L)C_1 \left(\frac{1}{I_{M7}} + \frac{1}{I_{M4}} \right) \quad (3)$$

1.3 PWM 再生成电路

PWM 再生成电路由模式的不同实现不同的功能。在模式 A 下,输出信号 PWM_OUT 等于输入信号 PWM_IN。在模式 B 下,用两个寄存器实时存下 PWM_IN 信号的周期与脉冲宽度。在 PWM_IN 上升沿后半周期时间把 PWM_OUT 置高,置高后一个 PWM_IN 的脉冲宽度时间再置低,这样就实现了 180° 的移相。在 C 模式下,只需寄存 PWM_IN 信号的脉冲宽度。在 PWM_IN 来一个上升沿, V_{CC} 通过电阻对电容充电,当电容电压值达到门限值 V_{SET} (1.25 V) 时, PWM_OUT 置高,同时把电容上的电荷放掉。在 PWM_OUT 置高一个 PWM_IN 的脉冲宽度时,将其置低,这样就实现了由电阻电容所决定的任意相位的移相了。具体实现电路如图 3 所示。

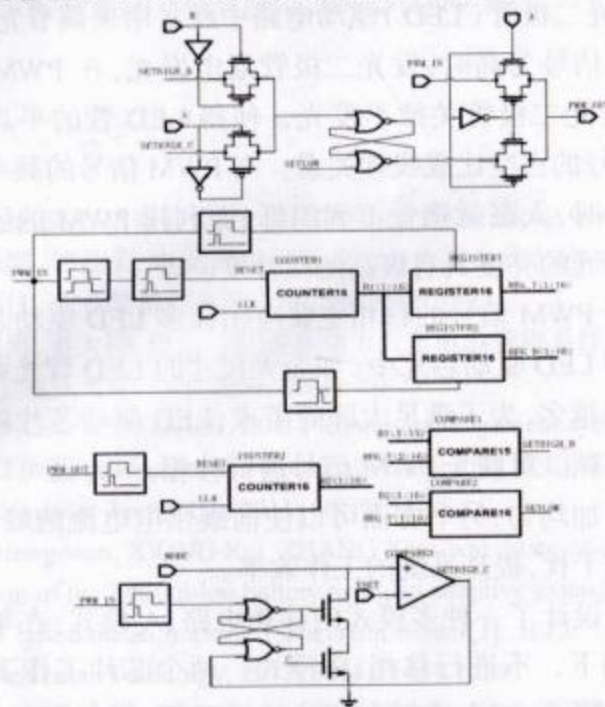


图 3 PWM 再生成电路

从图中可以看出,当为模式 A 时, PWM_IN 经过一个传输门输出为 PWM_OUT, 没有移相。

在选择模式 B 时, COUNTER1 在 PWM_IN 经过一个小延时后的上升沿被重置从零开始计数。寄存器 REGISTER1 在 PWM_IN 的上升沿记下当时计数器的结果, 经过一个周期后该寄存器就会记下正确的 PWM_IN 的周期, 尽管在第一个周期时会是零, 但在后序周期会被纠正, 不会影响电路的功能。在 PWM_IN 的下降沿, 寄存器 REGISTER2 记下当时计数器的结果, 为 PWM_IN 的脉冲宽度。比较器 COMPARE1 是一个

15位的数字比较器,当 COUNTER1 的 1 至 15 与 REGISTER 的 2 至 16 相同时,即 COUNTER1 计到半个 PWM_IN 周期的时间,置高 SETHIGH_B 信号,把 PWM_OUT 置高。同时计数器 COUNTER2 被重置,开始计数。当 COUNTER2 的结果与 REGISTER2 相同时,即 PWM_OUT 的脉冲宽度与 PWM_IN 的相同时,比较器 COMPARE2 置高 SETLOW 信号,把 PWM_OUT 置低。这样就实现了移相 180°。

在选择模式 C 时,PWM_OUT 的置低信号 SETLOW 与模式 B 下相同,但置高信号由 SETHIGH_C 来控制。在 PWM_IN 上升沿,MODE 引脚的放电通路被关断,MODE 电平由 V_{CC} 经过电阻向电容充电被充高。当电容电压高于 V_{SET}(1.25 V)时,SETHIGH_C 被置高,置高 PWM_OUT,同时 MODE 被迅速放电,直到下一个 PWM_IN 上升沿达到 MODE 再次被充电。这样就实现了由电阻电容控制的任意相位的移相功能。移相时间为:

$$V_{CC}(1 - e^{-\frac{\Delta T}{RC}}) = V_{SET} \quad (4)$$

$$\Delta T = -RC \ln(1 - \frac{V_{SET}}{V_{CC}}) \quad (5)$$

换算为以度为单位的相位:

$$\text{相移} = \frac{\Delta T}{T} \times 360^\circ \quad (6)$$

式中:T 为 PWM_IN 的周期。

2 版图设计与测试结果

版图设计与各个电路模块的摆放如图 4 所示。从图 4 可以看出,计数器与寄存器占了版图近一半的面积。这是由于所采用的工艺尺寸较大的原因,若应用在更小线宽的工艺下,这部分面积可以大为缩小。

在三种模式下,MODE、PWM_IN、PWM_OUT 的波形分别如图 5(a)、(b)、(c)所示。PWM_IN 的频率为 200 Hz,占空比为 50%。在 C 模式下,移相 130°。测试结果图上从上往下分别为 MODE、PWM_OUT、PWM_IN 信号。测试表明,在模式 A 下,MODE 为 0 V,PWM_OUT 与 PWM_IN 同相;在模式 B 下,MODE 为 10 V (V_{CC}),PWM_OUT 落后 PWM_IN 180°;在模式 C 下,MODE 电压在 0~1.25 V 之间变化,在 PWM_IN

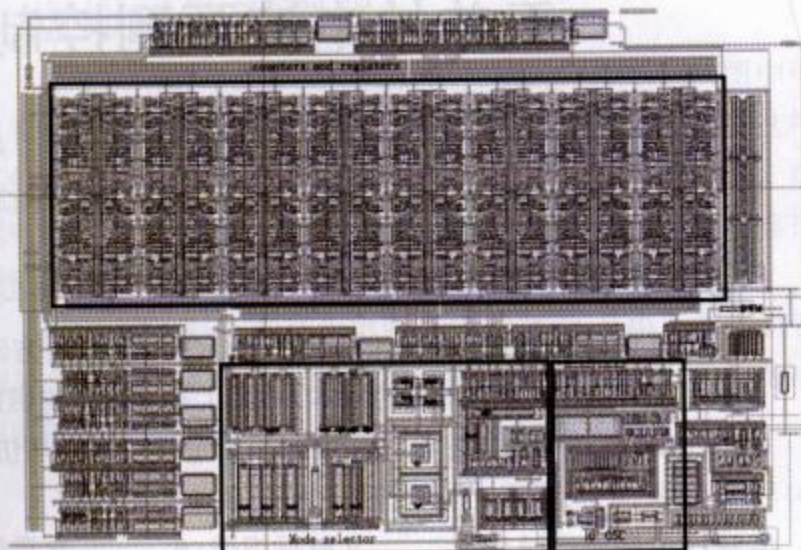


图 4 电路版图设计

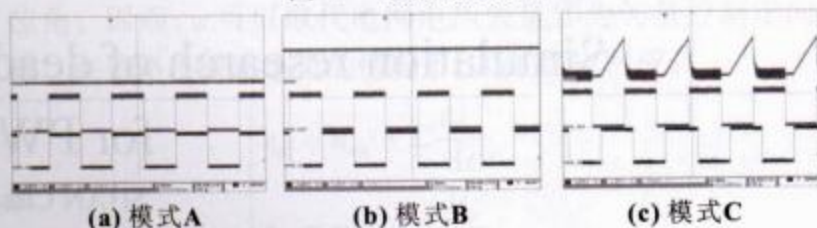


图 5 三种模式下测试结果

上升沿 MODE 从 0 V 往上走,在到达 1.25 V 时迅速降低,PWM_OUT 跳高,实现了 130° 的移相。

3 结论

本文基于 BiCMOS 工艺所设计的移相电路,采用了高频振荡器和高达 16 位的计数器与寄存器,测试表明能达到准确与高精度的移相。同时模式选择电路使得电路能方便的应用于不同的场合,简化了外围电路设计。该电路不仅适用于 LED 驱动芯片的调光,也可适用于其他需要对 PWM 信号进行移相的电路中。

参考文献:

- [1] 黄可,冯全源.一种基于 BCD 工艺的高性能振荡器设计[J].微电子学,2009,39(5):677-679.
- [2] RAZAVI B. Design of analog CMOS integrated circuits [M].New York:McGraw-Hill, 2001: 340-351.
- [3] ALLEN P E. CMOS analog circuit design [M].北京:电子工业出版社,2007:352-475.



新书介绍

《燃料电池技术》

燃料电池作为继火电、水电、核电之后的第四代发电方式,被誉为 21 世纪清洁、高效的动力源,受到人们广泛的关注,燃料电池技术也在飞速的发展。

本书系统地介绍了燃料电池技术的历史与发展,并通过对燃料电池的基本原理与研究方法、种类和应用的介绍使读者对这种新的发电方式具有清晰的了解。本书既在基本原理方面做了深入介绍,又总结了许多实践方面的经验;既突出了目前国际上发展迅速的质子交换膜燃料电池、甲醇燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池与固体氧化物燃料电池等几种燃料电池技术,突出了制氢技术作为燃料电池发电方式基础的重要性以及电能输出的技术特点,同时又反映了近年来燃料电池技术的最新科技成果与未来发展方向。