

## LED亮度调节中的人眼感受非线性校正

琚新刚<sup>1</sup>, 勾占锋<sup>2</sup>, 孙 华<sup>3</sup>

(1. 河南教育学院 电路与系统重点学科组, 河南 郑州 450046; 2. 郑州师范学院 信息科学与技术学院, 河南 郑州 450044; 3. 鹤壁职业技术学院 电子信息工程系, 河南 鹤壁 458030)

**摘要:**在 PWM 数字调光方式中,人眼对 LED 灯具亮度(光通量)线性变化的感受是非线性的.为了对这种非线性感受进行校正,需要对光通量进行补偿.由于光通量和 PWM 占空比成严格线性关系,故根据光通量和人眼亮度感受的反非线性特性,得到人眼线性亮度感受需要的非线性变化 PWM 占空比即可.系统采取查找表方式,利用 Quartus II 平台的参数可设置宏模块,在存储器中预存按反非线性特性计算好的占空比数值,实现光通量补偿.测试显示,系统达到了校正目的.

**关键词:**亮度感受;非线性校正;占空比;LPM\_ROM 模块

**中图分类号:** TP331.2 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.05.031

### 0 引言

LED 新型照明光源,节能、寿命长、控制灵活,其应用范围日益广泛. LED 亮度调节通常采用 PWM 数字调光机制<sup>[1]</sup>,由于 PWM 信号占空比与光通量  $\varphi$  成线性关系,而人眼对线性变化的  $\varphi$  所引起的亮度变化的感觉是非线性的.因此,为实现亮度调节给人眼带来线性感受,需引入非线性校正技术,对  $\varphi$  进行补偿,达到人眼对光调节线性感受的目的.

### 1 人眼亮度感受非线性规律

国际照明委员会(The International Commission on Illumination, CIE)对亮度的定义是:某一区域放射出光线的多少,用光通量来表征.亮度是一个感官量,人眼大约能分辨出 80 个等级的亮度.在某个环境中,人眼无法感受到亮度小于环境最高亮度百分之一的物体<sup>[2]</sup>.

人眼对亮度具有本能的非线性感受.眼睛对较低灰度的光亮变化更敏感.弱光时,光强增加一倍,人眼感觉到的增强多于一倍;强光时,光强增加一倍,人眼感觉到的增强不足一倍.只有 18% 光源亮度的光线,人眼感觉大约是一半的亮度.

表现在一个灯具,当其输出光通量随时间线性变化时,人眼的感受却不是线性的,在灯光微亮区,灯具很小的光通量改变也让人眼感到光强变化很大,而在光通量比较大的区域,很大的光通量跳跃,人眼感觉到的光强变化也不大.眼睛的这种自然响应与 CRT 显示器固有响应的反特性非常相近<sup>[3]</sup>.即:

$$\text{人眼对亮度的感受} = \text{光通量}^{(1/2.2)}$$

### 2 亮度感受非线性校正原理

以  $F$  表示人眼对亮度的感受,  $\varphi$  表示光通量

$$F = \varphi^{1/2.2}$$

其中,  $\varphi \propto D$  ( $D$  为 PWM 调节信号的占空比,以下简称  $D$ ).

线性的亮度感受需要非线性变化的  $\varphi$ ,由于  $\varphi$  与  $D$  严格线性,故线性变化的亮度感受需要遵从某种规律的非线性变化的  $\varphi$ ,所谓的某种规律,即(线性调节对应的非线性变化)  $\varphi$ ——人眼亮度感受的反非线性特性,映射在系统中,就是 AD 采样后的值  $A$  在控制 PWM 的占空比时( $A$  作为查找表的地址取  $\varphi$  值时),  $\varphi$  值按照  $D = \lambda A^{2.2}$  的规律<sup>[4]</sup>,如图 1 所示,即在存储器中预先存储按反特性计算好的  $\varphi$  值,达到校正目的.

收稿日期:2012-07-10;修订日期:2012-08-20

作者简介:琚新刚(1973-),男,河南辉县人,河南教育学院副教授,硕士,主要研究方向:EDA 技术. Email: Xingangju@126.com.

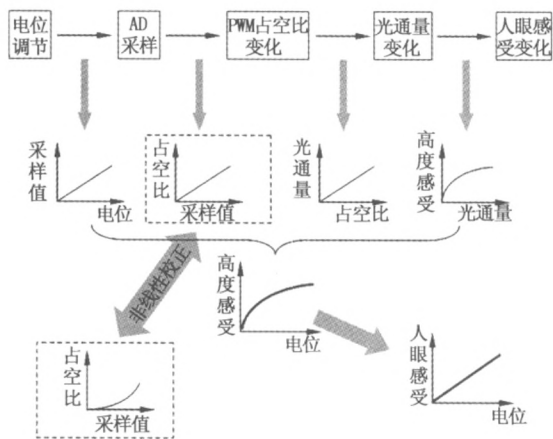


图 1 非线性校正原理

Fig. 1 Nonlinear correction principle

### 3 利用 Quartus II 平台实现非线性校正

利用 Quartus II 平台的可参数化宏功能模块和 LPM (Library of Parameterized Modules, 参数可设置模块库) 函数,可以快速实现上述 LED 灯控系统所需的非线性校正。

#### 3.1 设计校正模块

校正模块由校正数据 ROM、顶层设计、PWM 产生电路 3 个部分组成。其中,顶层设计作为整体载入 FPGA 芯片,包含了 2 个部分,一个  $n$  位计数器,作为 ROM 的地址信号发生器;一个 LPM\_ROM 模块作为信号波形数据 ROM<sup>[5]</sup>。地址发生器的时钟 CLK,其输入频率记为  $f_0$ ,每个周期的波形数据点数(取决于计数器位数  $n$ ,为  $2^n$  点),D/A 输出的频率记为  $f$ ,三者之间的关系为

$$f = f_0 / 2^n$$

#### 3.2 定制 LPM\_ROM 模块的初始化数据文件(64 级灰度)

根据  $D = A^{2.2}$ ,确定 ROM 内的 .mif (Memory Initialization File) 波形数据文件,如图 2 所示。

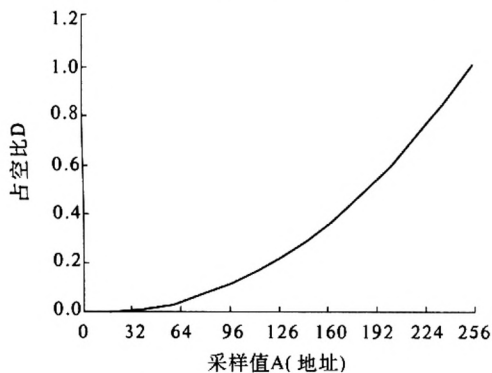


图 2 非线性校正曲线

Fig. 2 Nonlinear correction curve

取点数  $n = 64$  (64 级灰度,理论最高值由 AD 采样位数决定),按照  $D = A^{2.2}$  等间距取  $D$  的 64 个数据,经归一化、取整处理后作为校正后的占空比数据,由于 FPGA 只能描述定点整数,位数越多误差越小,资源占用越多。取整后得到的最大数据为 9090,如图 3 所示,需采用 14 位二进制数,数据线为 14 位,64 个数据确定了 ROM 的地址线为 6 位。

Addr	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
0	0	1	5	11	21	34	52	72
8	97	126	158	195	237	282	332	387
16	446	509	578	651	728	801	886	990
24	1088	1190	1297	1409	1527	1649	1777	1910
32	2048	2191	2340	2494	2654	2819	2989	3165
40	3346	3533	3725	3923	4127	4336	4551	4771
48	4997	5229	5467	5710	5959	6215	6475	6742
56	7015	7293	7576	7868	8165	8467	8775	9090

图 3 Datarom.mif 文件

Fig. 3 Datarom.mif file

在 Quartus II 中选择 ROM 数据文件编辑窗。根据 64 点 14 位幂函数数据的情况,可选 ROM 的数据数 Number 为 64,数据宽 Word size 取 14 位。据此建立 .mif 数据表格。可直接在表中填写,之后保存此数据文件,名为 datarom.mif,路径: F:\jiaozheng\。可在 QuartusII 下查看该文件<sup>[6-7]</sup>,如图 4 所示。

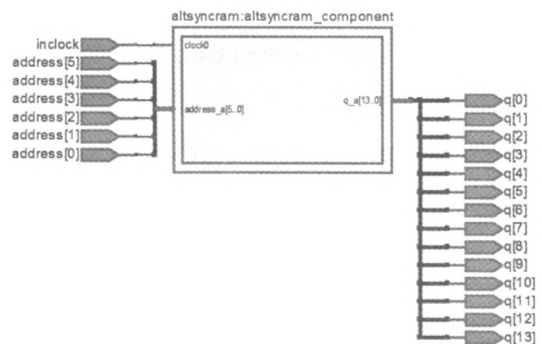


图 4 定制的存储器顶层电路

Fig. 4 Customized memory top circuit

在 Quartus II 环境下定制 LPM\_ROM 元件。生成存放波形数据的文件后,利用 MegaWizardPlug-In Manager 定制校正数据 ROM 宏功能块,并将以上 datarom.mif 中的占空比  $D$  的数据加载于此 ROM 中。

在 Quartus II 环境下定制 LPM\_ROM 的 RTL 电路,其顶层电路如图 4 所示。

### 4 测试结果

通过嵌入式逻辑分析仪 SignalTap II 获得芯

片内部节点和端口的信号波形,节点 Q1 代表 AD 采样值,作为读取 ROM 的地址信号,利用图中的游标可以查看验证任一地址处的信号波形值,即 DOUT 端口的输出值<sup>[8]</sup>,更直观地显示出设计方案在芯片的运行情况,验证了非线性校正得以实现,如图 5 所示。

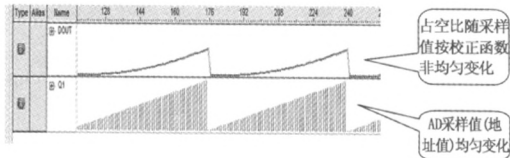


图 5 SignalTap II 显示的波形  
Fig. 5 Waveform in SignalTap II

## 5 结论

根据 LED 灯具光通量和人眼感受的反非线性特性,通过 FPGA 查找表的控制方法,实现了非线性校正,技术手段简单易行,明显降低了灯具在调光过程中给人的非线性感觉,使人眼感受到的 LED 灯具多级调光均匀协调。

## 参考文献:

[1] KURDTHONGMEE W. Design and implementation of

an FPGA - based multiple - colour LED display board [J]. Microprocessors and Microsystems, 2005, 29: 327 - 336

[2] Cree. 白皮书——LED 照明系统设计手册 [EB/OL]. [2010 - 8 - 27]. <http://www.gg-led.com/asdisp-65b095fb-130325.html>.

[3] 中电网. 伽玛技术在 CRT 电视系统中含义 [EB/OL]. [2011 - 7 - 25]. [http://www.eccn.com/design\\_2011031513485019.htm](http://www.eccn.com/design_2011031513485019.htm).

[4] 马晓阳. LED 显示屏  $\gamma$  校正的研究与实现 [J]. 电光与控制, 2010, 17(6): 92 - 96.

[5] 据新刚. 基于 SOPC 技术的多通道 LED 灰度控制模块硬件设计 [J]. 河南师范大学学报 2010, 38(3): 74 - 77.

[6] Altera International Limited. Cyclone II Device Family Data sheet [EB/OL]. [2010 - 8 - 27]. [http://www.altera.com.cn/literature/hb/cyc2/cyc2\\_cii5v1\\_01.pdf](http://www.altera.com.cn/literature/hb/cyc2/cyc2_cii5v1_01.pdf).

[7] 维基百科. FPGA [DB/OL]. [2011 - 08 - 04]. <http://zh.wikipedia.org/wiki/FPGA>.

[8] 潘松. EDA 技术与 VHDL [M]. 北京: 清华大学出版社. 2007: 9 - 10.

## Nonlinear Correction for Human Eye Feeling to LED Brightness Control

JU Xin-gang<sup>1</sup>, GOU Zhan-feng<sup>2</sup>, SUN Hua<sup>3</sup>

(1. Circuits and Systems Key Disciplines of Henan Education Institute, Zhengzhou 450046, China; 2. College of Information Science and Engineer, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou 450044, China; 3. Electronic and Information Engineering, Hebi Vocational and Technical College, Hebi 458030, China)

**Abstract:** In PWM digital dimming mode, the human eye Feeling to LED lighting brightness (luminous flux) linear change is nonlinear. In order to make this nonlinear feeling has been corrected, luminous flux compensation is needed. Because a strict linear relationship exists between Luminous flux and PWM duty cycle, therefore, it will be done, according to the Luminous flux and the nonlinear characteristics of human eye brightness feeling, to obtain nonlinear change PWM duty cycle of human eye linear brightness feeling. LUT and LPM of Quartus II platform are used by the system, the data of duty cycle according to the nonlinear characteristics calculation are deposited to realize luminous flux compensation. As is shown in the test, the system gets correct.

**Key words:** brightness feeling; nonlinear correction; duty cycle; LPM\_ROM Module