

文章编号:1007-2780(2015)02-0263-06

固态体积式真三维立体显示器显示体驱动电路设计

张应松^{1,2,4}, 梁蓝天^{1,2,4}, 韩东^{1,2,4}, 刘志民^{1,3,4}, 方勇^{1,4}, 吕国强^{1,4*}

(1. 合肥工业大学 特种显示技术教育部重点实验室 特种显示技术国家工程实验室

现代显示技术省部共建国家重点实验室, 安徽 合肥 230009;

2. 合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 安徽 合肥 230009;

3. 合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009;

4. 合肥工业大学 光电技术研究院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 固态体积式真三维立体显示器显示体是由多层大尺寸液晶光阀组成, 高速投影光学引擎将对应深度的图片投射到对应深度的液晶光阀上成像, 经过人眼合成即可实现立体显示, 因此驱动显示体使其与高速投影光学引擎相匹配是显示立体图像的重要保证。介绍了单层液晶光阀驱动电路, 该电路具有驱动能力强, 响应速度快, 可实现双极性驱动的特点。在解决多个上述电路并联引起振荡叠加的基础上设计了显示体驱动电路和驱动控制电路。在分析 60 Hz 刷新频率下显示体闪烁的原因之后, 基于传统驱动方式提出了一种新的驱动方式, 解决闪烁现象。可以实现真三维立体无闪烁显示, 对于单层 48 cm(19 in)液晶光阀, 上升时间和下降时间之和为 0.5 ms, 实现了快速驱动。满足了固态体积式真三维显示体驱动设计要求, 为大尺寸液晶光阀驱动提供了一种方法。

关键词: 固态体积式真三维; 立体显示; 液晶光阀; 双极性驱动; 闪烁

中图分类号: TM131.5; TP274.2 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/JYXS20153002.0263

Design of circuit driver for display-body used in solid volumetric true 3D display

ZHANG Ying-song^{1,2,4}, LIANG Jian-tian^{1,2,4}, HAN Dong^{1,2,4},LIU Zhi-min^{1,3,4}, FANG Yong^{1,4}, LV Guo-qiang^{1,4*}

(1. Key Lab of Special Display Technology, Ministry of Education, National Engineering Lab of Special Display Technology, National Key Lab of Advanced Display Technology, Academy of Opto-Electronic Technology,

Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Department of Computer and Information, Hefei University of Technology,

Hefei 230009, China; 3. Department of Instrument Science and Opto-electronic Engineering,

Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 4. Academy of Photoelectric

Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The display-body used in Solid Volumetric True 3D Display contains 20 pieces of Liquid Crystal Light Valve(LCLV). The high-speed video projector projects a sequence of pictures into different pieces of liquid crystal light valve so that people can see a true 3D image. It's necessary to syn-

收稿日期: 2014-06-11; **修订日期:** 2014-07-17.

基金项目: 国家 863 项目 (No. 2012AA011901); 广东省战略性新兴产业核心技术攻关 (No. 2011A010801003)

* 通信联系人, E-mail: guoqianglv@hotmail.com

chronize the display body with the high-speed video projector. First, a circuit driver for large-size liquid crystal light valve is needed. The driver should have the strong capability of fast response and can realize bipolar drive. After solving the problem caused by the oscillation happened on the gate of MOSFET, the circuit driver for the display-body is designed. Finally, after analyzing the reasons of flicker happened when the body refresh rate is 60 Hz, a new method based on current hardware is given to solve the problem of flicker. Experiments show that the driver can realize the true 3D display without flicker. To one piece of liquid crystal light valve 48 cm(19 in), the sum of rising time and falling time is 0.5 ms when the drive voltage is 100 V. The circuit driver can realize the function and provides a method for driving the liquid crystal light valve in large size.

Key words: true 3D display; stereo display; liquid crystal light valve; bipolar drive; flicker

1 引言

随着显示技术的发展,3D时代已经来临。电影院 3D 电影随处可见,给人们的视觉带来极大的冲击和享受;多数机场也已出现了裸眼立体显示器;3D 显示技术的发展是显示技术上的一次伟大变革。然而目前出现的 3D 显示技术或多或少都有一定的缺陷,比如在电影院观看 3D 电影需要佩戴专用眼镜,而且部分观众对该种电影会产生眩晕现象;裸眼 3D^[1-2]虽然无需佩戴眼镜,但是一般只能在固定的位置才能观看,而且长久观看会产生视觉疲劳。固态体积式真三维立体显示器是一种在三维空间真实成像的显示器,观看时无需佩戴眼镜,也不会导致视觉疲劳。

固态体积式真三维立体显示器工程样机显示体由 20 层 48 cm(19 in)液晶光阀(liquid crystal light valve)组成。在液晶光阀两端加高于阈值的电压时液晶光阀处于透明状态,允许光以高透过率透过;当两端无压差时液晶光阀处于成像态,此时图像在光阀上散射,观察者可以看到图像^[3]。对液晶光阀而言,随着尺寸的增大,其等效电阻和等效电容随之增大,充放电时间延长,液晶光阀的透明态与成像态的切换速度随之下降。为了满足快速成像的需求,要求驱动电路开关速度快,导通电阻低,能承受瞬间大电流且安全可靠。为了延长液晶光阀的使用寿命,还必须能对液晶光阀进行正反向充电,目前业内尚无这种驱动^[4-5]。工程样机研制成功后,发现显示体存在闪烁现象。本文的驱动电路很好地实现了显示器显示体的驱动,为以后更大尺寸的液晶光阀驱动提供了硬件支持;本文还通过对闪烁现象的研究,在不改变硬件的基础上提出了

一种新的驱动方法,消除了闪烁现象。

2 驱动电路结构设计

固态体积式真三维立体显示器显示体驱动电路是由光阀驱动控制模块和光阀驱动模块构成。驱动控制模块的核心是现场可编程门阵列(FPGA),该模块为光阀驱动控制和温控所共有,与光阀驱动模块通过柔性扁平电缆(FFC)相连。光阀驱动模块是由 20 个相同的子模块并联而成,每个小模块可以单独驱动一层液晶光阀。

2.1 液晶光阀驱动控制模块

驱动控制模块的核心是现场可编程门阵列(FPGA),本系统选用的型号为 ALTERA 公司 Cyclone 系列的 EP1C3T144C8,它有 2 910 个 LE 逻辑资源,104 个 PIN 脚,13 条 M4KRAM(共 6.5 KB)和一个数字锁相环(PLL)。该型号 FPGA 价格低廉、使用方便,完全能满足需求。

2.2 液晶光阀驱动模块

该模块由 20 个子模块构成,每个子模块有两个光电耦合器、两个半桥驱动器、一个与非门和 4 个 N 型金属-氧化物-半导体(NMOS)组成,如图 1 所示。

光电耦合器简称光耦,以光为媒介传递电信号,它对输入、输出电信号有良好的隔离作用。本系统光阀驱动控制模块属于数字电路模块,耐压比较低且易受干扰,而后端液晶光阀驱动模块,驱动电压为 100 V,属于高压范畴,在两者之间加光耦可以避免后端高压电路对前端数字电路造成破坏。

半桥驱动器可以同时驱动半桥(H 桥)臂上上下下两个 MOS 管,本系统使用的半桥驱动器为 IR2104,它具有承受电压高、驱动能力强、响应速度快等特点。如图 2 所示,半桥驱动器有两个输

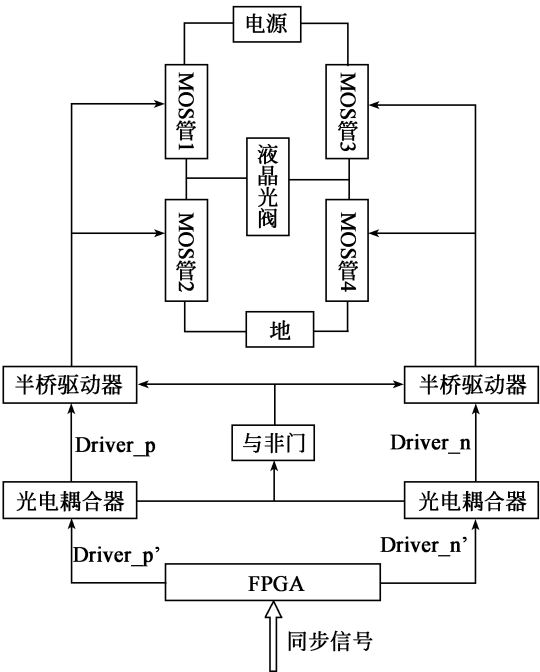


图 1 单层液晶光阀驱动流程图

Fig. 1 Flow chart of driving one piece of liquid crystal light valve

入端和两个输出端,输入输出时序图如图 3 所示,可见只有 $\overline{SD}$ 为高时 HO 和 LO 输出才与 IN 有关;HO 与 IN 相同,LO 与 IN 反相。

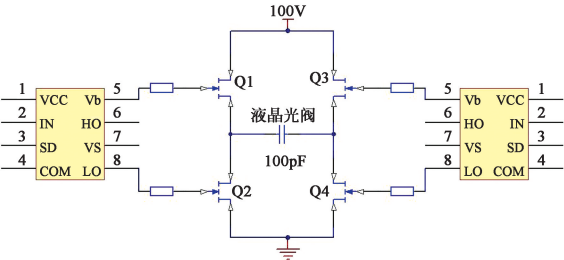


图 2 半桥驱动电路

Fig. 2 Circuit of half-bridge driver

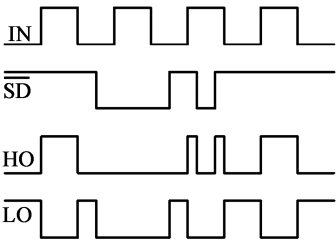


图 3 IR2104 时序图

Fig. 3 Timing diagram of IR2104

本系统采用 2 个半桥驱动器驱动一块液晶光阀,如图 4 所示,该电路可以实现液晶光阀的正反向充电。工作过程如下:图(a)所示为液晶光阀正向充电过程,此时 Q1 和 Q4 闭合,Q2 和 Q3 打开;图(b)所示为液晶光阀正向放电过程,此时 Q1 由闭合变打开,同时 Q2 由打开变闭合,液晶光阀两端接地,对地放电;图(c)所示为光阀反向充电过程,此时 Q2 和 Q3 闭合,Q1 和 Q4 打开;图(d)所示为光阀反向放电过程,此时 Q3 由闭合变打开,同时 Q4 由打开变闭合,液晶光阀两端接地,对地放电。

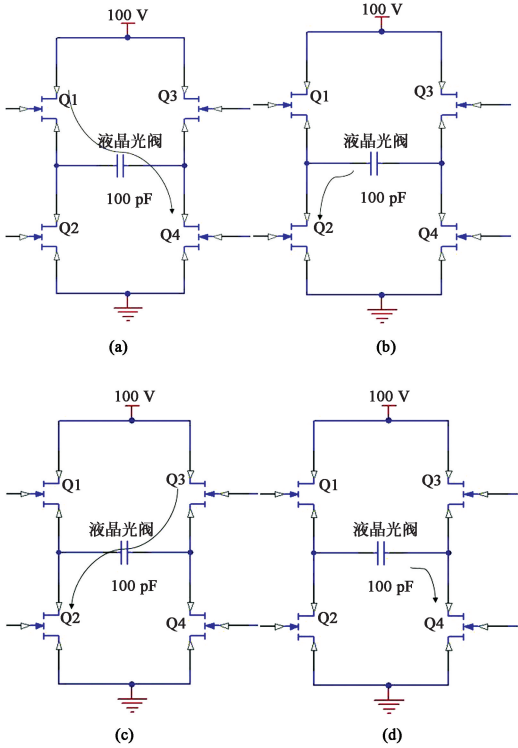


图 4 液晶光阀正反向充电示意图

Fig. 4 Forward and reverse charge schematic of liquid crystal light valve

与非门的作用是为了防止 Q1、Q3 同时打开对液晶光阀造成损坏,通过对 IN1 和 IN2 信号进行与非操作,并将结果输出给 $\overline{SD}$;当 IN1 和 IN2 都为高时 $\overline{SD}$ 两端为低,Q1-Q4 全部打开,使电路更加的安全可靠。

通过上述的分析可知单个小模块即可实现对单块液晶光阀进行正反向充放电操作,驱动控制板由 20 个该种小模块组成,理论上可以实现显示体的驱动,然而该种情况下驱动控制板在上电瞬

间易损毁。经过分析,20 个子模块共用一个高压和地,本质上是 20 个 H 桥并联。MOS 管虽然响应速度快、通过电流大,但是栅极和源级之间压差不能过大;MOS 管在高速开关状态时栅极会产生振荡,对 20 个 H 桥并联在一起的电路,栅极振荡叠加,当振荡电压超过栅极-源级极限电压时,MOS 管被击穿,DS 两端处于导通状态,导致电源和地之间短路而损毁。驱动控制模块在上电瞬间会产生 5 kHz 的干扰波,所以在上电瞬间光阀驱动板易损毁。

针对上述分析,提出以下措施:减少单块电路板并联 H 桥的数目,在每个 MOS 管栅极加吸收电阻,并在 MOS 管 GS 两端加稳压二极管。栅极吸收电阻的选择根据实际情况来定,一般为几欧到几十欧之间,若选择的阻值过大,会导致 MOS 管响应速度变慢,达不到系统要求,若过小,则不能起到滤除栅极振荡的作用。

3 驱动方法研究

驱动控制板接收到的同步信号是频率为 60 Hz、高电平为 70 ns 的脉冲信号,由固态体积式真三维立体显示器成像原理可知,当检测到同步信号下降沿时即开始依次扫描 1~20 层液晶光阀,在下一个高电平到来之前完成一个周期的扫描;在下一个扫描周期内液晶光阀的充电方式与前一周期相反。对于某一层屏而言,散射态和透明态切换的频率为 60 Hz,散射态占整个周期的 5%;若考虑正向充电和反向充电,则驱动波形即为 30 Hz,图 5 给出的是前两层液晶光阀驱动波形。图中 State 是正反向充电标志位,00 表示散射态,01 表示正向充电,10 表示反向充电,闪烁态的时间为 0.83 ms,整个大周期的时间为 33.3 ms。

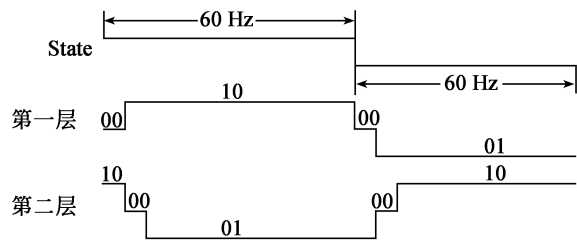


图 5 第一层液晶光阀驱动控制信号

Fig. 5 Drive signal of first piece of liquid crystal light valve

20 层液晶光阀按上述方式依次扫描,配合前端的成像系统,即可在显示体上显示立体图像。

按上述扫描方式进行扫描虽然可以显示立体图像,但是却有很强的闪烁感。经过分析,闪烁主要由两方面因素导致,一是环境光干扰,二是 60 Hz 固有闪烁叠加。

固态体积式真三维立体显示器由于结构上限制,液晶光阀与环境光不能完全隔离。环境光的主要成分是室内照明灯光,由于中国的民用交流电频率为 50 Hz,所以一般的室内照明灯光频率为 100 Hz 正弦波,如图波形 a 所示。单层液晶光阀切换频率为 60 Hz,散射态占空比为 5%,如图 6 波形 b 所示。当液晶光阀处于散射态时,环境光照射在液晶光阀上散射,人眼接收到的散射光波形如图 7 所示。由图 7 可知:散射光频率虽然为 60 Hz,但是散射光亮度在变化,所以人眼会感觉到明显的闪烁感。

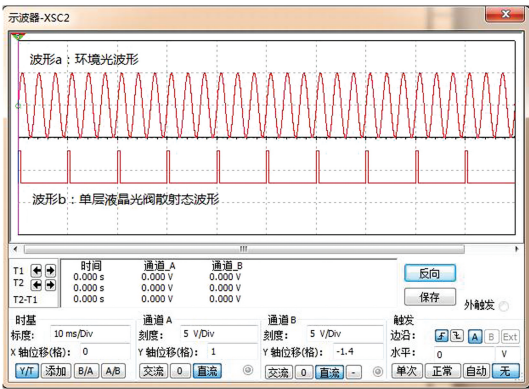


图 6 环境光波形和单层液晶光阀闪烁态波形

Fig. 6 Waveform of ambient light and liquid crystal light valve

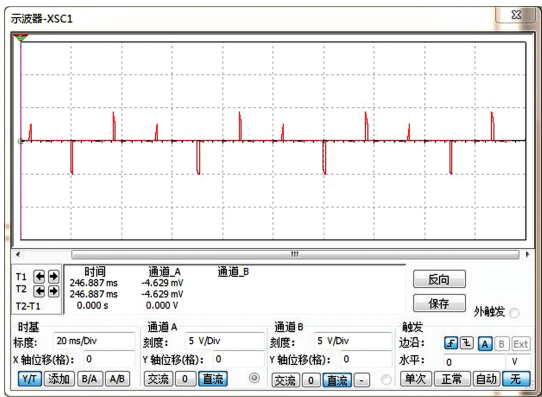


图 7 人眼合成频率

Fig. 7 Synthesized frequency by human eye

另一个导致闪烁的原因就是 60 Hz 本身存在闪烁问题。人眼的光感受器对间断光刺激的反应决定于刺激的间歇频率,当闪烁的频率增至某一值时,闪烁感消失,人眼感受到固定的连续的光,此时的闪光频率叫做临界闪烁频率(CFF)。CFF 受很多因素的限制,如闪光的亮度、光斑的大小、观察的角度、环境光等。J. E. Farrell 基于阴极射线管显示提出 CFF 计算公式^[6]:

$$CFF=m+n\{\ln[E_{obs}]\} \quad (1)$$

其中: m 、 n 为常数,由显示器尺寸决定。

$$E_{obs}=DC\times Amp(f), \quad (2)$$

$$DC=(L_T-L_R)\cdot A, \quad (3)$$

$$A=\pi\cdot(d/2)^2, \quad (4)$$

$$d=5-3\cdot\tanh[0.4\cdot\lg(3.183\cdot L_T)], \quad (5)$$

其中: L_T :显示器输出光平均亮度; L_R :环境光平均亮度; d :瞳孔直径。

$$Amp(f)=\frac{2}{[1+(\alpha 2\pi f)^2]^{1/2}}, \quad (6)$$

式(6)对应的为荧光粉余辉指数变化 $e^{1/\alpha}$ 的时间常数。对于液晶显示屏,上式不再适用,对其进行修正^[7]:

$$\begin{cases} Amp(f)=\sqrt{Q_1^2+Q_2^2} \\ Q_1=\frac{2}{T}\int_0^T\sin(t\cdot\frac{2\pi}{T})\cdot f(t)dt \\ Q_2=\frac{2}{T}\int_0^T\cos(t\cdot\frac{2\pi}{T})\cdot f(t)dt \end{cases} \quad (7)$$

对于本系统而言: L_T : 60 cd/m², L_R : 20 cd/m²。

$$f(t)=\frac{20L_T}{19}, 0<t<\frac{19T}{20}.$$

$$m=11.85;n=8.9;$$

经过计算,对于单层液晶光阀,CFF 为 67.6 Hz,即只有光阀驱动频率超过 67.6 Hz 才不会感觉到闪烁。而显示体由 20 层液晶光阀组成,闪烁感会叠加。

针对闪烁现象,在原来驱动的基础上,提出了一种新的驱动方法。以第一层液晶光阀为例,如图 8 所示,在原来透明态的基础上增加 4 个 0.1 ms 散射态,同时充放电方式变换 4 次,则既可以解决 60 Hz 低于临界闪烁频率导致的本身闪烁问

题,又可消除环境光带来的影响,因为该种变换之后液晶光阀驱动频率为 300 Hz,与日光灯的 100 Hz 是相匹配的,合成波形如图 9 所示,虽然散射光亮度依然在变化,但是散射光频率为 300 Hz,远远大于闪烁阈值,所以人眼感觉不到闪烁。由于 0.1 ms 成像时间与正常 0.83 ms 成像时间相比而言较为短暂,由于人眼的视觉特性,对立体显示效果不会产生影响。

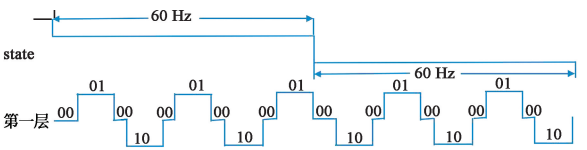


图 8 改进后第一层液晶光阀驱动控制信号

Fig. 8 Improved drive signal of first piece of liquid crystal light valve

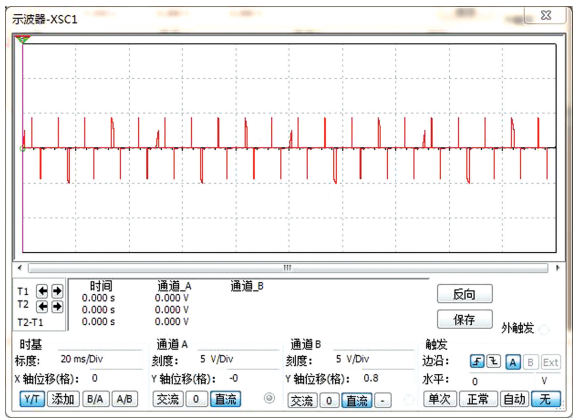


图 9 改进后人眼合成频率

Fig. 9 Synthesized frequency by human eye after improved

固态体积式真三维立体显示器工程样机实际效果图如图 10 所示,图中的图像具有很强的立体感,无闪烁现象。

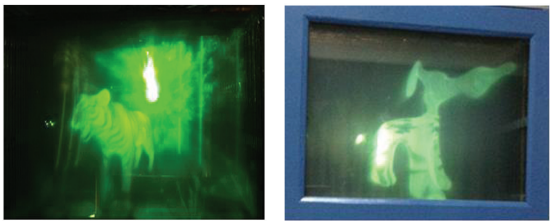


图 10 显示 3D 效果图

Fig. 10 3D image displayed

4 结 论

本文设计了一种大尺寸液晶光阀驱动电路，该种驱动电路驱动能力强、响应速度快、可以实现双极性驱动，稳定性高。基于上述驱动电路，在消

除栅极振荡的基础上设计了固态体积式真三维立体显示器显示体驱动电路，通过更改显示体驱动方法，消除了闪烁现象，实现了当前固态体积式真三维立体显示器工程样机显示体的设计要求，并为下一代更大尺寸真三维立体显示器的设计打下基础。

参 考 文 献：

[1] 文江涛,胡耀辉,吕国强,等. 光栅式立体显示器重影问题的研究[J]. 液晶与显示,2007,22(3):310-314.
Wen J T, Hu Y H, Lv G Q, *et al.* Naked 3D display system with wide viewing angle based on head-tracking technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2007, 22(3): 310-314. (in Chinese)

[2] 陈瑞改,陶宇虹,谢佳,等. 基于头部追踪的宽视角裸眼 3D 显示系统[J]. 液晶与显示,2013,28(2):233-237.
Chen R G, Tao Y H, Xie J, *et al.* Naked 3D display system with wide viewing angle based on head-tracking technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28 (2) : 233-237. (in Chinese)

[3] 张兴,郑成武,李宁,等. 液晶材料与 3D 显示[J]. 液晶与显示,2012,27(4):448-455.
Zhang X, Zheng C W, Li N, *et al.* Liquid crystal materials and 3D display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(4) : 448-455. (in Chinese)

[4] 黄泽铨. 小尺寸液晶屏驱动技术研究[J]. 科学之友,2013,8(1):6-7.
Huang Z E. Small size LCD drive technology research [J]. *Friend of Science Amateurs*, 2013, 8(1): 6-7. (in Chinese)

[5] 韩少飞,方勇,周仕娥,等. 高速液晶光阀驱动电路设计[J]. 现代显示,2010,115(1):10-12.
Han S F, Fang Y, Zhou S E, *et al.* Design of driver circuit for high-speed liquid crystal light valve [J]. *Advanced Display*, 2010,115(1):10-12. (in Chinese)

[6] Farrell J E, Benson B L, Haynie C R. Predicting flicker thresholds for video display terminals [J]. *Proceedings of the SID*, 1987, 28(4):449-453.

[7] 徐益勤,张宇宁,李晓华. 显示器件大面积闪烁视觉生理基础与改善方法[J]. 电子器件,2008,31(5):1417-1420.
Xu Y Q, Zhang Y N, Li X H. Physiology analysis and reduction method for large area flicker of displays [J]. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2008, 31(5) : 1417-1420. (in Chinese)

作者简介:张应松(1991—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要从事显示与成像方面的研究。E-mail:guangxindaosheng@126.com