文章编号:1007-2780(2014)05-0733-06

基于 labVIEW 的 AM-OLED 显示屏测试系统

马雪雪,王春阜,吴为敬*,彭俊彪
(1.华南理工大学 电子与信息学院,广东 广州 510640;
2.华南理工大学 发光材料与器件国家重点实验室,广东 广州 510641)

摘要:为方便对 AM-OLED 显示屏的各项性能进行测试,本文设计了基于 labVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 实验室虚拟仪器工程平台)的 AM-OLED 显示屏 *V-I-L* 曲线自动化测试系统,实现了在同一个软件下对显示屏的电压、电流、亮度、色坐标等特性的测试。首先,构建硬件电路即基于 FPGA 的 AM-OLED 显示屏驱动电路。接着,在此基础上利用 labVIEW 平台设计了 AM-OLED 显示屏 *V-I-L* 曲线测试系统的软件系统。最后,利用该系统对自主研发的基于 MOTFT 技术的 12.2 cm(4.8 in)AM-OLED 显示屏进行了测试,验证了系统的可靠性。通过对测试结果进行分析,AM-OLED 显示屏达到设计亮度时各像素所需的数据电压约为 9.2 V。总之,本系统实现了对显示屏性能参数的自动化测试,为显示屏的白平衡调节和 AMOLED 专用驱动芯片设计提供了数据支持,为显示屏的优化设计指明方向。

关 键 词:AM-OLED; 测试; labVIEW
中图分类号:TN383+.1 **文献标识码**:A **doi**:10.3788/YJYXS20142905.0733

Test system of AM-OLED display based on labVIEW

MA Xue-xue, WANG Chun-fu, WU Wei-jing*, PENG Jun-biao

(1. *School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou* 510640, *China*;
2. *State Key Laboratory of Luminescent Materials and Devices, Guangzhou* 510641, *China*)

Abstract: In order to test the performance of AM-OLED Display, an automatic *V-I-L* testing system based on virtual instrument technology was designed and used to acquire *V-I-L* curve. The performances of the AM-OLED Display (such as voltage-current, brightness, chromaticity coordinates, etc) could be measured in the same software. First, we built the hardware circuit: the driving circuit based on FPGA for AM-OLED Display. Then, a software system of *V-I-L* testing system based on virtual instrument technology was designed on this basis. Finally, we tested the 12.2 cm AM-OLED Display based on MOTFT technology which is developed independently, and verified the reliability of the system. Through the analysis of the test results, the data voltage of each pixel was about 9.2 V when the brightness of AM-OLED Display reached to the value of calculation. In brief, this system can achieve

收稿日期:2013-12-29;**修订日期**:2014-03-04.
基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61204089);广东省自然科学基金(No. S2012010008648);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No. 2013ZZ0046)
* 通信联系人,E-mail:wuwi@scut.edu.cn

the automatic test of the Displays' performance parameters and make an assessment on screen performance. What's more, it can not only provide reference data for the white balance adjustment and the design of AM-OLED driver IC, but also show the direction for the optimization design on the screen.

Key words: AM-OLED; test; labVIEW

1 引 言

有源矩阵有机发光二极管显示器(AM-OLED)被誉为替代液晶的下一代显示技术,具有自主发光、响应速度快、宽视角、可制作透明和柔性面板等诸多优点,是世界各国显示技术研究的热点。

基于氧化物薄膜晶体管(MOTFT)的有源矩阵有机发光二极管(AM-OLED)显示技术近年来得到了迅速的发展,但整体尚未成熟,尤其是国内的 AM-OLED 技术,还处在起步阶段。AM-OLED 显示屏还处于自主研发阶段,因此我们需要对其各项性能进行测试表征[1-4]。

LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 实验室虚拟仪器工程平台)是采用高性能模块化硬件技术,通过高效灵活的软件编程对模块化硬件进行控制,从而实现 AM-OLED 显示屏各项参数自动化测试。因此,虚拟仪器技术实现了软件和硬件的有机结合[5]。

本文首先构建了基于 FPGA 的 AM-OLED 显示屏驱动电路,然后基于虚拟仪器技术 labVIEW 开发环境搭建了 AM-OLED 显示屏性能测试平台,实现了快速、高效、准确的数据自动采集功能。

2 AM-OLED 显示屏的驱动电路

依据氧化物 MOTFT AM-OLED 显示屏特性,设计了一套外围驱动电路系统[6],系统的整体图如图 1 所示。

整个系统包括信号源、DVI 解码、时序控制、行列芯片应用电路、电源电压电路 5 个模块。其中信号源模块为 AM-OLED 显示屏提供显示影像,本文中可以通过 FPGA 生成简单测试图像,但较复杂、信息丰富的图像需 PC 机或播放器提供;DVI 解码模块将 PC 机传输过来的 TMDS 信号进行解码,得到 4 个控制信号——数据时钟、数据使能、行同步、场同步及 18 位 RBG 数据信号,将其输入到时序控制器;利用 FPGA 产生适宜芯片工作的时序控制信号,以供行列驱动芯片工作,从而驱动 AM-OLED 显示屏正常显示。本文中所选用的行列驱动芯片分别为联咏的 NT39211、NT39411D 两款芯片。

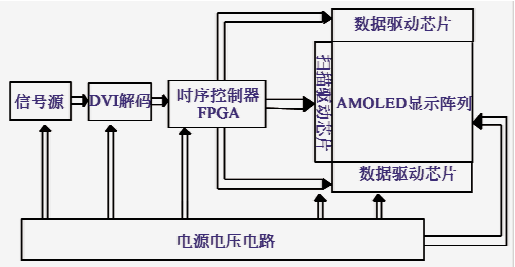


图 1 外围驱动电路系统整体框图

Fig. 1 Whole block diagram of peripheral driving circuit

此驱动电路为后续的 AM-OLED 显示屏 *V-I-L* 曲线测试提供了电路基础。

3 AM-OLED 显示屏的 *V-I-L* 曲线测试原理

AM-OLED 显示屏 *V-I-L* 曲线测试系统主要用于测试显示屏的数据电压(V_{data})-电流(I)-亮度(L)曲线,在固定 Vdd 的情况下,数据电压 V_{data} 与流过显示屏 OLED 的电流以及显示屏亮度之间的关系[7]。

如图 2 所示,我们使用程控电源 Keithley2400 为显示屏提供电源电压 V_{DD} 以及 Gamma 校正[8]基准电压 V_1。由源驱动芯片输出数据电压与 Gamma 校正基准电压的关系可知,在最高灰阶下数据驱动芯片输出数据电压 V_{data} 等于 V_1。在测试过程中,信号源(PC 机)分别为 AM-OLED 显示屏提供 R、G、B 最高灰阶图片,V_1 从 0 V 以等步长递增,输出电压 V_{data} 始终跟随 V_1 变化。理论上 V_{data} 的值等于 V_1,但 Gamma 校正板到显示屏存在一定的压降,为更准确测得 V_{data} 的大小,我

们直接在 AM-OLED 显示屏的数据输出 pad 处连接 keithley2000 测试 V_{data} 的大小。keithley2400 作为 V_{dd} 输入电压源，可以测试出流过节点 V_{dd} 的电流，即 OLED 的发光电流，分光辐射亮度计 CS2000 监测 AM-OLED 显示屏的亮度 L。由此，得到 V_{data} 与流过 OLED 的电流 IOLED 及 AM-OLED 显示亮度 L 的关系。

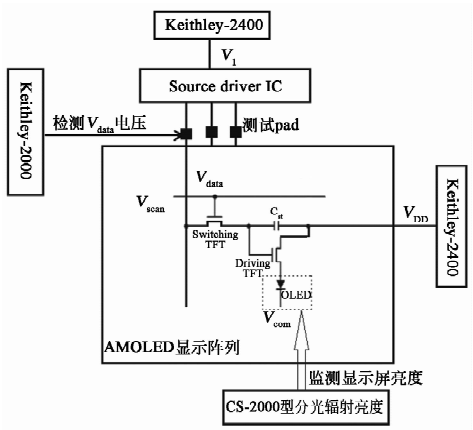


图 2　AMOLED 显示屏 V-I-L 测试系统示意图

Fig. 2　Schematic diagram of V-I-L test system for AMOLED display

labVIEW 通过 GPIB 卡控制 keithley2000 测量 V_{data} 电压，同时控制 Keithley2400 输出等步长递增电压 V_{dd}，并采集对应的电流 IOLED。通串行协议(RS-232)控制分光辐射亮度计 CS2000 实时采集显示屏亮度、色坐标以及光谱数据。

4　AM-OLED 显示屏 V-I-L 曲线测试系统构建

AM-OLED 显示屏 V-I-L 曲线测试系统软件架构[9]是基于 NI 公司的 LabVIEW 平台开发的，程序的框架如图 3 所示。

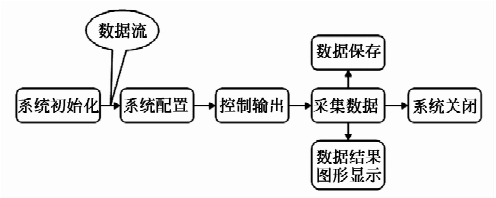


图 3　系统软件架构框图

Fig. 3　Software architecture diagram of the system

由图 3 可知，整个软件主要由系统初始化、系统配置、控制输出、采集数据、数据结果图形显示、数据保存以及系统关闭等几个模块组成。整个软件首先完成系统初始化，然后再对系统进行配置，采集数据，同时将采集的数据保存并将结果用图形显示，最后关闭系统完成整个系统测试。

图 4 是 AM-OLED 显示屏 V-I-L 曲线测试系统的软件界面，整个操作界面简单明了，由 LabVIEW 自带的控制组成，在此界面可实现输入电压的调节，能实时显示电流、电压以及亮度，波形图控件显示整个电流、亮度的变化趋势。

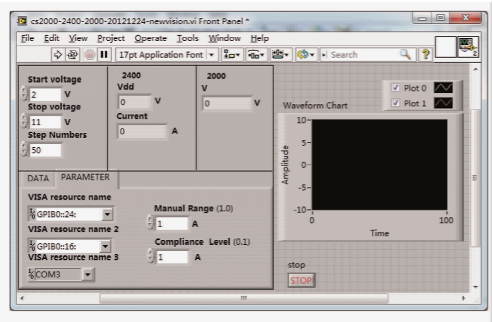


图 4　V-I-L 曲线测试系统界面

Fig. 4　Interface of the V-I-L curve test system

软件程序框图界面，主要分为 3 个功能模块：系统初始化以及配置模块、系统控制输出与数据采集模块、数据保存模块。由图 3 可知，每个模块并非完全独立，而是相互之间有联系的，上一个模块是下一个模块的基础，模块和模块之间存在交叉关系。

5　AM-OLED 显示屏 V-I-L 曲线实际测试结果分析

5.1　AM-OLED 显示屏 V-I-L 曲线测试系统验证

将华南理工大学与广州新视界光电科技有限公司联合研发的基于 MOTFT 技术的 12.2 cm (4.8 in) AM-OLED 显示屏连接到该测试系统中。验证了该系统能够满足 12.2 cm AM-OLED 显示屏的测试需求，很好地完成了 AM-OLED 显示屏的 V-I-L 曲线测试。AM-OLED 显示屏的技术参数如表 1 所示。

表 1 12.2 cm AMOLED 显示屏技术参数

Tab. 1 Technical parameters of 12.2 cm AMOLED display screen

尺寸	分辨率	最大亮度	对比度	色域	像素电路拓扑	像素开口率	有源层材料	整屏平均迁移率	TFT 阈值电压	TFT 开关比
12.2 cm	320(RGB)×480	500 cd/m^2	20 000∶1	75%	2T1C	36.8%	金属氧化物(IGZO)	10.6cm^2/(V·s)	0 V	10^8

图 5 为 AM-OLED 显示屏在 V_{dd}=10 V 时，红绿蓝子像素亮度随 V_{data} 变化的曲线，从图中可以看出 AM-OLED 显示屏的红绿蓝三色的 OLED 启亮电压不同，红色 OLED 在 V_{data}=2.5 V 时最先启亮，而绿色和蓝色 OLED 分别在 V_{data}=3.2 V 和 2.7 V 时启亮。由此可知，绿色 OLED 最大亮度为 250 cd/m^2，红色 OLED 最大亮度为 200 cd/m^2，蓝色 OLED 最大亮度为 120 cd/m^2。

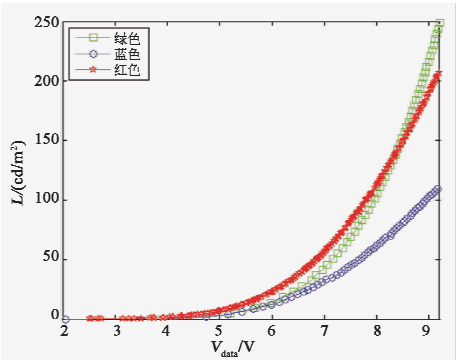


图 5 AM-OLED 显示屏的 V_{data}-L 曲线

Fig. 5 V_{data}-L curve of AM-OLED display screen

在数据电压 V_{data} 变化时，红绿蓝 3 种 OLED 器件的亮度变化不完全一致，这就导致 V_{data} 变化过程中，显示屏的色坐标发生漂移，如图 6 所示，AM-OLED 显示屏的色坐标启亮时为(0.344，0.357)，最大亮度时为(0.328，0.402)，在中间某一数据电压 V_{data} 时色坐标为(0.506，0.356)。明显可以看到 AM-OLED 显示屏的显示颜色有变化。

图 7 为 AM-OLED 显示屏 V_{dd}=10 时，流过显示屏的总电流随 V_{data} 变化的曲线，当 V_{data}=2 V 时，AM-OLED 显示屏的亮度很低，一般我们认为 OLED 还没有开始启亮，但是金属氧化物 TFT 的沟道中 n 型载流子(即电子)非常丰富，不加偏压条件下 TFT 器件就是导通的，所以当 V_{data}=2 V时，依然有从 V_{dd} 流过 T_2 管和 OLED 的电流；另一方面，TFT 背板制作过程中，因为工艺缺陷会导致 TFT 驱动阵列中存在短路，经过测试整屏(320RGB×480)的电流大小为 10 mA。

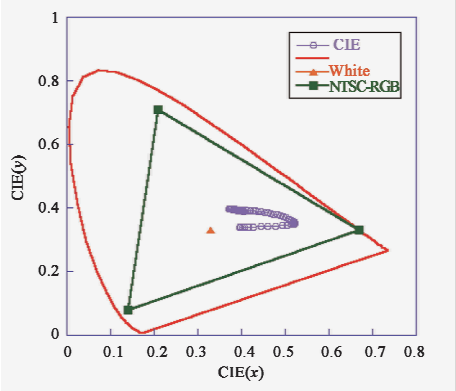


图 6 AM-OLED 显示屏的色坐标漂移曲线

Fig. 6 Color coordinates of the drift curve of AMOLED display screen

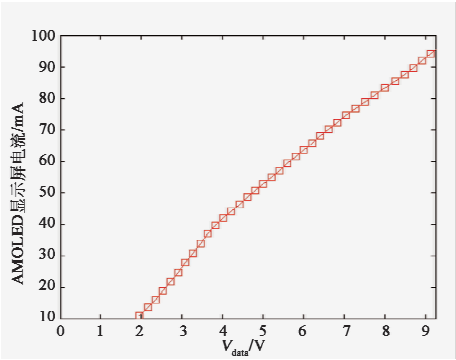


图 7 AMOLED 显示屏的 V_{data}-I 曲线

Fig. 7 V_{data}-I curve of AMOLED display screen

显示屏在 V_{data}=9.2 V 时达到亮度最大值 450 cd/m^2，对应 AMOLED 显示屏的电流为 95 mA，此时显示屏的 Wpanel = I_{OLED} × V_{dd} = 0.95 W。

综上所述，运用上述测试系统可以很方便的测试出 AMOLED 显示屏的 V-I-L 曲线，本文对 AMOLED 显示屏（320RGB×480）进行测试，分别测得显示屏 V_{data}-L 曲线、色坐标漂移曲线[10]以及 V_{data}-I 曲线。从而可以算出显示屏的功耗等参数，验证该系统的可靠性。

5.2　AM-OLED 显示屏 V-I-L 曲线测试系统结果应用

利用上述结果，可以分析白平衡[11]时，显示屏所需要的 V_{data}，为专用数据驱动芯片的设计提供参考。

根据国家标准（GB 936-2008-T 彩色显示器白平衡点色坐标及其宽容度）规定，在显示器中，白平衡点的标准色温为 6 500 K，其色坐标为 WCIE（0.313，0.329）。AM-OLED 显示屏中 RGB 发光材料的色坐标分别为 RCIE（x_r，y_r）、GCIE（x_g，y_g）和 BCIE（x_b，y_b），由色度学坐标系统和颜色的加成性[12]，可以得到式（1）和（2）。

白平衡时色坐标的 x 分量：

$$x_w=\frac{x_r\dfrac{Y_r}{y_r}+x_g\dfrac{Y_g}{y_g}+x_b\dfrac{Y_b}{y_b}}{\dfrac{Y_r}{y_r}+\dfrac{Y_g}{y_g}+\dfrac{Y_b}{y_b}}. \tag{1}$$

白平衡时色坐标的 y 分量：

$$y_w=\frac{Y_r+Y_g+Y_b}{\dfrac{Y_r}{y_r}+\dfrac{Y_g}{y_g}+\dfrac{Y_b}{y_b}}. \tag{2}$$

另外，根据 RGB 像素排布，可以得到白平衡时显示屏的亮度与 3 个子像素的亮度关系为：

$$Y_w=(Y_r+Y_g+Y_b)/3. \tag{3}$$

由公式（1）、（2）和（3）可以得到以下矩阵关系：

$$\begin{pmatrix}\dfrac{x_w-x_r}{y_r} & \dfrac{x_w-x_g}{y_g} & \dfrac{x_w-x_b}{y_b}\\ \dfrac{y_w}{y_r}-1 & \dfrac{y_w}{y_g}-1 & \dfrac{y_w}{y_b}-1\\ 1 & 1 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}Y_r\\Y_g\\Y_b\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\0\\3Y_w\end{pmatrix}. \tag{4}$$

解矩阵方程（4）得到红绿蓝 OLED 器件的亮度要求，即式（5）：

$$\begin{pmatrix}Y_r\\Y_g\\Y_b\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\dfrac{x_w-x_r}{y_r} & \dfrac{x_w-x_g}{y_g} & \dfrac{x_w-x_b}{y_b}\\ \dfrac{y_w}{y_r}-1 & \dfrac{y_w}{y_g}-1 & \dfrac{y_w}{y_b}-1\\ 1 & 1 & 1\end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix}0\\0\\3Y_w\end{pmatrix}. \tag{5}$$

设 AM-OLED 显示屏的设计最大亮度为 Y_w，色坐标为 WCIE（x，y）。红绿蓝 OLED 器件的色坐标分别为 RCIE（x_r，y_r）、GCIE（x_g，y_g）和 BCIE（x_b，y_b），将以上数据带入式（5）可以得出红绿蓝子像素所需的最大发光亮度分别为 Y_r，Y_g，Y_b，结合 AM-OLED 显示屏的开口率 AP，可以得出红绿蓝 OLED 器件所需的最大发光亮度 YOLED_r，Y OLED_g，Y OLED_b。结合 RGB OLED 器件的 L-V 曲线如图 5 所示，可以得到 AM-OLED 显示屏达到设计亮度时的 OLED 阳极电压理论值分别为，VOLED_r、VOLED_g 和 VOLED_b。

由 2T1C 像素电路的工作原理可得[11]：

$$I_{OLED\_i}=\frac{1}{2}\mu C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)(V_{gs}-V_{th})^2,$$
$$V_{gs}=V_{data}-V_{OLED\_i},$$
$$(i=r、g、b). \tag{6}$$

其中：I_{OLED_i}为流过 OLED 的电流；μ 为迁移率；W 为沟道宽度；L 为沟道长度；V_{gs}为栅极-源级电压；V_{data}为 OLED 的数据电压，V_{OLED_i}为 OLED 阳极电压理论值

由式（6）可得：

$$V_{data}=\sqrt{\frac{I_{OLED\_b}}{\frac{1}{2}\mu C_{ox}(\frac{W}{L})}}+V_{OLED\_b}+V_{th}. \tag{7}$$

利用式（7）可以方便地求出 AM-OLED 显示屏达到设计亮度时各像素所需的数据电压，为 MOTFT-AMOLED 显示屏专用数据驱动芯片的设计提供了可靠数据。

同时由上述实际测试结果分析可知：红绿蓝 OLED 器件的 V_{data}-L 特性曲线不一致给白平衡调试造成一定困难，要使 AM-OLED 显示器在全白画面下亮度由最小变到最大时，显示不偏色，色坐标不漂移，在相同灰阶下 RGB 子像素对应的数据电压应该不同。所以 AM-OLED 显示屏数据驱动芯片需要 RGB 三色 Gamma 电压单独可调。

6　结　　论

依托 AM-OLED 显示屏外围驱动显示系统，搭建了基于 LabVIEW 平台的 AM-OLED 显示屏 V-I-L 曲线测试系统，并通过测试 12.2 cm AM-OLED 显示屏的相关参数验证了该测试系

统的可靠性,从而实现了对显示屏性能参数的自动化测试,对显示屏性能做出了评估。同时通过对实际测试结果的运用求解,为氧化物 TFT-AM-OLED 显示屏专用 IC gamma 曲线设计提供了可靠数据,对显示屏的优化设计以及 AM-OLED 专用驱动芯片的开发具有重要意义。

参 考 文 献:

[1] Tang C W, VanSlyke S A. Organic electroluminescent diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, 51: 913-915.

[2] Baldo M A, O'Brien D F, You Y, *et al*. Highly efficient phosphorescent emission from organic electroluminescent devices [J]. *Nature*, 1998, 395(10): 151-154.

[3] 王振, 陈双文, 周翔. 高效率有机蓝光和白光电致发光器件[J]. 发光学报, 2011, 32(7): 715-719.
Wang Z, Chen S W, Zhou X. Study on efficient blue and white organic light-emitting devices [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2011, 32(7): 715-719. (in Chinese)

[4] 杨少鹏, 居秀琴, 王利顺, 等. 以 CBP 为主体的高色纯度红色磷光有机电致发光器件[J]. 发光学报, 2010, 31(1): 25-30.
Yang S P, Ju X Q, Wang L S, *et al*. Highly color-purifield-red phosphorescent organic light-emitting diode using CBP as host material [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2010, 31(1): 25-30. (in Chinese)

[5] Jeffrey T, Jim K. LabVIEW 大学实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 339-346.
Jeffrey T, Jim K. *LabVIEW Practical Course in University* [M]. Beijing: Publishing House of electronics industry, 2008: 339-346. (in Chinese)

[6] 伊盛, 陈杰, 夏淑淳. 基于 FPGA 的 AMOLED 驱动方案[J]. 液晶与显示, 2011, 26(2): 188-193.
Yi S, Chen J, Xia S C. Driving scheme for AMOLED based on FPGA [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(2): 188-193. (in Chinese)

[7] 王宇, 田朝勇, 周刚. AMOLED 像素驱动电路参数设计[J]. 液晶与显示, 2013, 28(4): 587-592.
Wang Y, Tian C Y, Zhou G. AMOLED pixel driving circuit parameter design [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(4): 587-592. (in Chinese)

[8] 赵梓权, 王瑞光, 郑喜凤, 等. LED 显示屏的色域校正 [J]. 液晶与显示, 2013, 28(1): 92-98.
Zhao Z Q, Wang R G, Zheng X F, *et al*. Color gamut correction of LED displays [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(1): 92-98. (in Chinese)

[9] 刘健, 谢文法. OLED 器件光电性能集成测试系统研制 [J]. 液晶与显示, 2013, 28(1): 132-137.
Liu J, Xie W G. Integrated optoelectronic performance test system for OLEDs [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(1): 132-137. (in Chinese)

[10] 李熹霖. LED 显示屏的色度均匀性和色保真度 [J]. 现代显示, 2006(6): 9-15.
Li X L. The chroma uniformity and fidelity of the LED Display [J]. *Advanced Display*, 2006(6): 9-15 (in Chinese)

[11] 尹盛, 蔡东京. 用数模结合的方法实现 AM-OLED 的白平衡[J]. 液晶与显示, 2013, 28(3): 382-385.
Yin S, Cai D J. Achievement on white balance for AM-OLED [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(3): 382-385. (in Chinese)

[12] 戴亚翔, 田民波. TFT LCD 面板的驱动与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 6-7.
Dai Y X, *Tian M B. Design and Operation of TFT LCD Panels* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 6-7. (in Chinese)

作者简介: 马雪雪(1991—), 女, 湖北襄阳人, 硕士研究生, 主要从事 OLED 驱动电路的研究。E-mail: 814724368@qq.com