

文章编号:1007-2780(2019)04-0335-07

一种针对 AMOLED 器件劣化的电学补偿技术

解红军, 张小宝*

(维信诺科技股份有限公司, 河北 固安 065500)

摘要: AMOLED 显示屏经过长时间的使用, 不可避免地会有 OLED 器件劣化的问题。同一显示屏内不同位置的像素器件的劣化程度不同, 造成显示屏整体亮度下降和显示残像。使用越久、亮度越高的像素, 器件劣化就越严重。本文提出一种电学补偿技术, 用以改善 OLED 器件劣化造成的亮度下降和显示残像。采用电学侦测的方法获得各个像素的 OLED 器件的 V_{TH} , 将其存储于闪存芯片内, 显示时通过查找表找到对应的 OLED 发光效率, 计算得出各个像素的补偿后灰阶值, 实现实时补偿的效果。本技术可以使劣化越严重的像素, 获得越大的像素电流, 从而弥补由于劣化造成的发光效率下降, 最终得到理想的像素亮度。使用该方法可以补偿由于 OLED 劣化造成的亮度下降和显示残像, 残像指标 JND 小于 3.1。

关键词: 电压侦测; 电学补偿; 器件劣化; 残像

中图分类号: TP394.1; TN383⁺.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193404.0335

Electronic-compensation technique for improving the degradation of AMOLED devices

XIE Hong-jun, ZHANG* Xiao-bao

(Visionox Technology Inc., Gu'an 065500, China)

Abstract: After long-term use of AMOLED display, the problem of OLED device degradation will inevitably occur. Sometimes, the rate of degradation may be different in different areas of panel. Thus, the OLED device degradation can cause some issues, such as general decrease of luminance and static image sticking. As usual, the longer pixel is used or the higher luminance for display, the more serious OLED device degradation occurred. In this paper, a new technology to improve OLED device degradation by external electronic-compensation method was proposed. In this solution, the threshold voltage of OLED device in every pixel can be sensed by external voltage detection. And the V_{TH} data, concerning the degradation level of OLED device, can be stored in flash IC. Then, the image data can be calculated pixel-by-pixel according to compensation data stored in flash IC. Finally, new image data, after revised by compensation algorithm, can be send to source driver IC. The degraded pixels can get bigger current. Then, we can get desired pixel luminance. This solution can compensate the luminance decrease and long-term image sticking caused by OLED device degradation. Image sticking feature JND < 3.1.

收稿日期: 2018-10-18; 修订日期: 2019-03-04.

* 通信联系人, E-mail: zhangxb@visionox.com

Key words: voltage sensing; electronic-compensation; device degradation, image sticking

1 引言

OLED(Organic Light Emitting Diode)显示技术具有轻薄、宽视角、低功耗、响应速度快等特点,是目前最有希望实现柔性显示的一种技术。搭配 TFT 背板技术可制成具有矩阵式像素排列、采用逐行扫描来刷新图像的显示屏,称为 AMOLED(Active Matrix Organic Light Emitting Diode)。近年来 AMOLED 显示技术逐渐发展起来,已经获得了一些市场份额,主打高端市场。尽管如此,任何新技术出来都不是完美无缺的,都要有技术演进的过程。AMOLED 显示屏存在着诸多的技术问题,例如亮度不稳定、短期/长期残像、色偏、亮度衰减等等。在长期的使用过程中 OLED 器件发生材料劣化,发光效率降低,从显示效果上表现为亮度衰减。因此 OLED 器件劣化会造成 AMOLED 显示屏寿命下降。

此外,OLED 器件劣化还会造成显示屏出现长期残像。AMOLED 为主动发光型显示屏,具体位置的像素是否发光、发光的亮暗,都取决于显示图像。不发光或者发光亮度低的像素电流很小,器件劣化速度很慢;发光且亮度越高的像素电流越大,器件劣化速度越快,因此不同位置的像素发生了不同程度的劣化。出现了原来图像的印记,这就是所谓的长期残像。

寿命下降问题和长期残像问题,在工控等非消费领域显得尤为重要。必须要有一种技术对其加以改善。一种方法是优化 OLED 各层材料特性,优化器件结构,从根本上延缓 OLED 器件劣化进程;另一种方法是采用补偿技术,像补偿 TFT 均匀性那样补偿 OLED 劣化,虽然材料仍在劣化,但人眼不易识别。很显然,第一种方法属于材料和工艺领域,是从根本上加以解决,是未来的长远的技术方向,但技术发展速度缓慢;第二种方法属于驱动控制领域,是间接改善方式,效果很快即可呈现。本文技术方案属于第二种方法。对于 OLED 器件劣化问题,目前国内外大都将重点放在器件优化上面,而补偿技术还都处于研究阶段,未见于量产产品之上。

随着产品领域增多,不再局限于手机等消费品,对产品寿命及残像的要求越来越高,对补偿技术的需求变得更加明确。

伴随着 AMOLED 显示技术的发展诞生了补偿技术,分为内部像素补偿技术^[1]和外部补偿技术。外部补偿分为光学补偿和电学补偿^[2]。光学补偿使用相机拍照再补偿,不管什么原因造成,通通体现在亮度差异上,最后统一进行补偿^[3]。电学补偿主要针对驱动 TFT 的阈值电压和迁移率进行补偿,获得更高的亮度均匀性。电学补偿分为电压型侦测和电流型侦测。电压型电学补偿发展较快,研究广泛。电流型电学补偿适合大尺寸 AMOLED TV 领域,技术难度大。本文提出一种电压型电学补偿方案,能够侦测 OLED 器件劣化程度,根据劣化程度对像素电流进行相应的补偿,从而改善 AMOLED 显示屏寿命问题和长期残像问题。

2 补偿技术原理

2.1 OLED 劣化侦测原理

电学补偿技术分为两个部分:侦测和补偿。侦测是利用屏上某个现象与某个物理量之间存在的固有联系,感测并记录该物理量,用该物理量表征屏上现象变化的过程。补偿是利用已有的补偿数据与图像数据进行计算,得出补偿后的图像数据。

OLED 器件劣化过程中,会伴有很多物理量的变化,例如 OLED 的电压会逐渐增大^[4], $I-V$ 斜率会逐渐变小,反向等效电容逐渐增大或减小^[5]。本文提出的侦测方案是用电学方法侦测 OLED 器件阈值电压,用阈值电压变化量表征 OLED 器件的劣化程度。图 1 所示为 OLED 器件劣化引起的 $I-V$ 曲线变化,在 OLED 的 $I-V$ 曲线图中不难看出,器件劣化的过程就是曲线右移的过程,器件阈值电压也会随之增大。将 OLED 阈值电压随时间变化的规律提炼出来,就得到如图 2 所示的曲线,即 OLED 器件劣化引起的 V_{TH} 变化。本文的侦测方法就是侦测每个像素的 OLED 阈值电压,将阈值电压变化量 ΔV_{TH} 存储于芯片内。变化量是相对于初始 V_{TH} 而言的,每

个子像素的劣化程度是独立的,所以像素之间的阈值电压变化量 ΔV_{TH} 也是独立的。OLED 阈值电压变化量 ΔV_{TH} 越大,劣化程度越严重;阈值电压变化量 ΔV_{TH} 越小,劣化程度越轻微。本文定义 OLED 电流为 1 nA 时阳极与阴极的电压差为 OLED 的阈值电压 V_{TH} 。

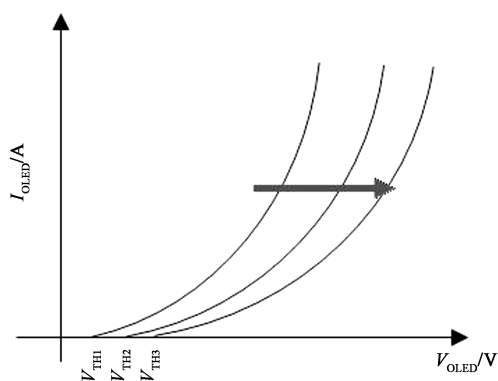


图1 OLED 器件劣化引起的 I - V 曲线变化

Fig.1 OLED I - V variation with device degradation

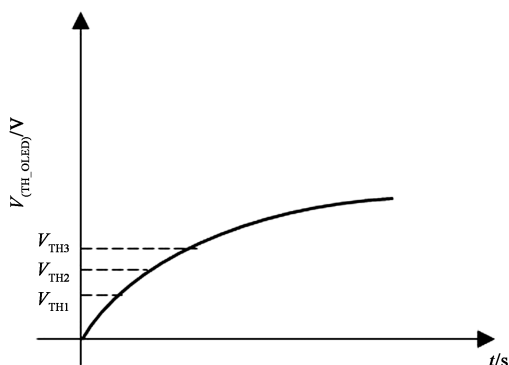


图2 OLED 器件劣化引起的 V_{TH} 变化

Fig.2 OLED V_{TH} variation with device degradation

2.2 OLED 劣化补偿原理

劣化补偿的目的是用算法处理图像数据,使劣化的像素获得更大的驱动电流,恢复亮度,使人眼识别不到劣化造成的亮度降低和显示残像。

对于任一型号产品,在产品开发初期进行 OLED 被动器件的劣化数据的搜集,得到大量样本的不同劣化程度的 I - V - L (电流-电压-亮度)。用 I - V 数据得到器件 V_{TH} ,用 I - L 数据得到器件发光效率 η 。同一时刻器件的 V_{TH} 与发光效率 η 形成映射关系,如表 1 所示。

表 1 器件 V_{TH} 与发光效率 η 的映射关系

Tab.1 Relation of device V_{TH} and efficiency η

时间点	器件 V_{TH}	发光效率 η
t_0	V_{TH0}	η_0
t_1	V_{TH1}	η_1
t_2	V_{TH2}	η_2
t_3	V_{TH3}	η_3
...	...	...

若将初始的器件 V_{TH} 记为 V_{TH0} ,则 V_{TH} 变化量为:

$$\Delta V_{TH} = V_{TH} - V_{TH0}, \quad (1)$$

因此得到 ΔV_{TH} 与发光效率 η 的映射关系,如表 2 所示。

表 2 器件 ΔV_{TH} 与发光效率 η 的映射关系

Tab.2 Relation of device ΔV_{TH} and efficiency η

时间点	器件 ΔV_{TH}	发光效率 η
t_0	—	η_0
t_1	ΔV_{TH1}	η_1
t_2	ΔV_{TH2}	η_2
t_3	ΔV_{TH3}	η_3
...	...	...

将表 2 数据进行编码,以查找表(Look Up Table)的方式存储于芯片内。相同颜色的所有像素使用同一查找表,共有 3 个查找表分别对应红绿蓝三色像素。设像素初始的 OLED 器件阈值电压为 V_{TH0} ,对应的发光效率为 η_0 ,对应灰阶的初始电流为 I_0 。对于任一子像素来说,补偿运算时先根据其 V_{TH} 得到 ΔV_{TH} ,然后查出对应的发光效率 η ,必要时需要进行线性插值运算。然后进行如下计算,得出补偿后像素电流表达式:

$$I = \frac{\eta_0}{\eta} \cdot I_0 = K_{\text{gain}} \cdot I_0, \quad (2)$$

其中: K_{gain} 为电流增益倍数,由公式可知补偿后电流大于初始电流 I_0 ,从而实现用更大的电流来弥补器件劣化造成的亮度下降,保持亮度恒定。

从原理上讲,补偿运算流程如图 3 所示,为变量之间的因果关系。 G 为输入的图像灰阶, V_{DATA} 为无补偿情况下的输出图像电压, I_0 为无补偿情况的 OLED 电流,亦即像素初始电流。产品使用

时, ΔV_{TH} 为当前的器件 V_{TH} 变化量, η 为当前的发光效率, K_{gain} 为计算得到的电流增益倍数, I 为补偿后的 OLED 电流, V'_{DATA} 为补偿后的输出图像电压, G' 为补偿后的输出图像灰阶。

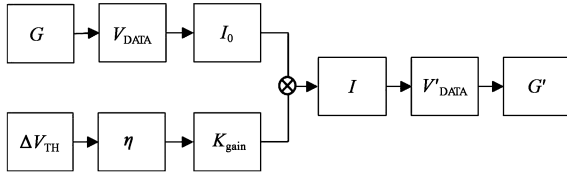


图 3 理论补偿运算流程图

Fig.3 Flow chart of compensation algorithm

像素电路^[6]具有内部补偿功能, 因此 I_0 公式如下:

$$I_0 = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (EL_{VDD} - V_{DATA})^2, \quad (3)$$

补偿后的输出图像电压 V'_{DATA} 公式如下:

$$I = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (EL_{VDD} - V'_{DATA})^2, \quad (4)$$

其中: μ 、 C_{ox} 、 $\frac{W}{L}$ 分别为驱动 TFT 的载流子迁移率、栅极绝缘层单位面积电容和沟道宽长比^[7]。以上为变量之间的运算关系, 在实际应用中将会进行公式化简。

3 补偿技术方案设计与实现

显示模组的电路构成如图 4 所示, 包含 TCON (Timing Controller) 模块, 驱动芯片 (Driver IC) 和 AMOLED 面板^[8]。TCON 模块负责显示时序控制、侦测时序控制、侦测数据处理与数据存储、显示图像数据补偿运算, 是整个系统的控制中心和数据处理中心。该显示系统有两种工作模式, 显示模式和侦测模式, 都由 TCON 完成时序控制和状态转换。Driver IC 负责把图像数据转换为模拟量, 输出并驱动显示屏, 如图加粗箭头所示。Driver IC 内还包含侦测模块, 负责将屏内传出的电压转换为数字量, 最后回传给 TCON, 如图细线箭头所示。因此该 Driver IC 具有电学补偿功能, 这是与常规 Driver IC 的不同之处。

AMOLED 面板包含背板部分和 EL 发光器件部分, 等等。显示屏背板采用 LTPS-TFT, 呈现 p 型 MOS 特性, OLED 采用 RGB 蒸镀方式, FMM (Fine Metal Mask) 蒸镀技术。发光方式为

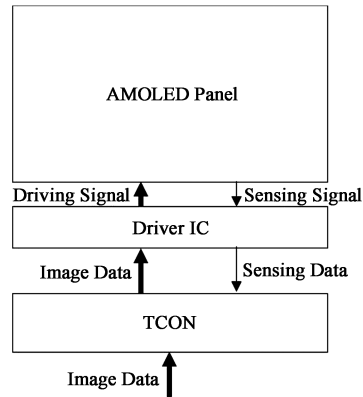


图 4 AMOLED 显示模组的电路构成

Fig.4 Circuit block diagram of AMOLED module

顶发光, 光线穿过透明阴极。为实现电学补偿技术, AMOLED 面板及像素设计具有特殊性。图 5 所示为像素电路简图, 粗线以上为面板, 下面是驱动芯片 (Driver IC)。虚线以上为显示区, 以下为周边电路, 包含 DMUX (De-multiplexer) 电路和扇出 (Fan out) 走线。实线框表示一个子像素, 虚线框为该子像素的其他部分。显示模式下 SW_1 断开, 子像素的其他部分工作, 电流 I_D 流过有机发光二极管, 画面正常显示; 侦测模式下 SW_1 导通, 子像素的其他部分不工作, I_D 为 0, 画面表现为黑画面 (V_{REF} 电位的确定, 应使 OLED 两极压差略高于器件平均 V_{TH} , 所以侦测时单行 OLED 亮度很低, 人眼无法识别)。

图 5 中的 DMUX 电路为选通电路, 一般为多路选通一路。该电路可降低驱动芯片的通道数

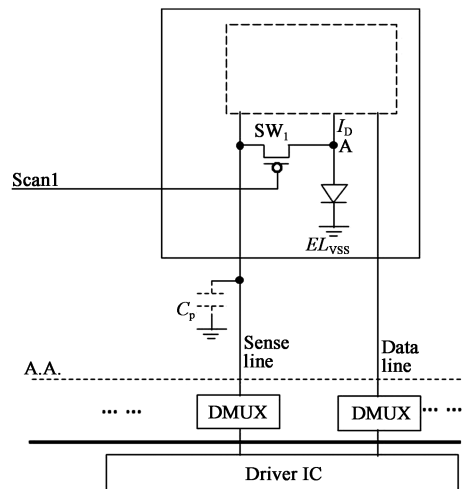


图 5 像素电路简图

Fig.5 Brief circuit of sub-pixel

目,缺点是时分复用造成充电时间减少。

图6为驱动芯片内的侦测电路,由MUX模块、采样模块^[9]、模数转换(ADC)模块和输出接口模块构成。 S_1 、 S_2 、 S_3 ……为芯片的侦测通道,连接面板的侦测信号线(Sense line)。侦测模式有3个时段,称为预充电时段 t_1 、放电时段 t_2 和电压采样时段 t_3 。图7为侦测模式下各时段的波形图。 t_1 时段开关SW_R导通,SMP断开, V_{REF} 电压写入侦测信号线的寄生电容 C_P ,且通过SW₁写入OLED的阳极A点,即完成预充电过程。 t_2 时段开关SW_R断开,SMP断开, C_P 上的电荷通过SW₁流过OLED,实现对 C_P 放电。 t_2 时段内 C_P 电位一直下降,直到OLED两极压差接近于器件 V_{TH} 为止。为了使A点和 C_P 电位放电充分,应保证 t_2 时间足够长。 t_3 时段内SW_R一直断开,首先使SMP导通, C_P 电位被采样到IC内部的采样电容上。然后SMP断开,SW_{S1}/SW_{S2}/SW_{S3}/……依次打开,ADC进行逐个转换,最后输出。

Driver IC将侦测到的电压值 V_A 传回给TCON,若 ELV_{SS} 为0V,则初始侦测值 V_A 等于

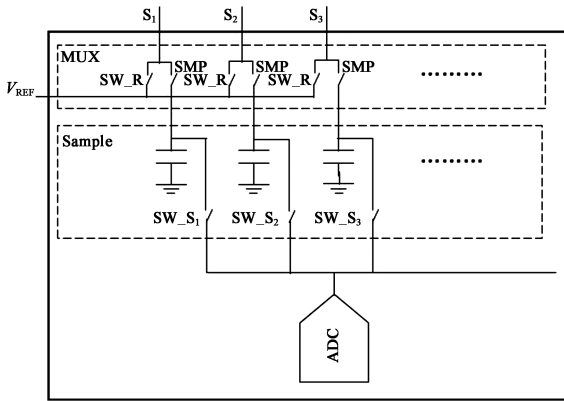


图6 驱动芯片内的侦测电路

Fig.6 Sensing circuit of driver IC

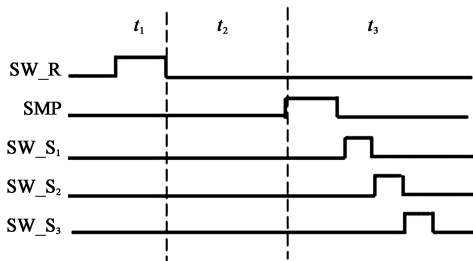


图7 V_{TH} 侦测波形图

Fig.7 Waveform of V_{TH} sensing

V_{TH0} ,产品使用时侦测的 V_A 为 V_{TH} ,用公式(1)算出 ΔV_{TH} 。将每个子像素的 ΔV_{TH} 编码后存储于Flash芯片内,形成OLED劣化补偿数据。

产品在显示模式下需要进行实时的补偿运算,该运算在TCON板上执行。图8为TCON板硬件框架图,主要硬件为TCON芯片,DDR(Double Data Rate)芯片和Flash芯片。Flash芯片为固态存储,储存器件的特性LUT和各像素补偿数据。DDR芯片可实现快速数据吞吐,使补偿运算速度与屏幕刷新速度相匹配。系统上电后将Flash芯片内所有数据搬移到DDR内,然后进入到显示模式。

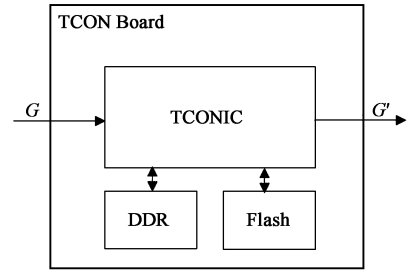


图8 TCON板硬件架构图

Fig.8 Hardware Block diagram of TCON Board

补偿运算与屏幕刷新同步进行,运算流程如图9所示。

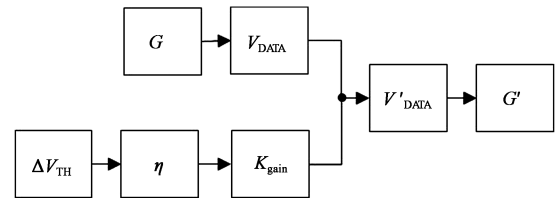


图9 补偿运算流程图

Fig.9 Flow chart of compensation algorithm

在实际应用中不需要计算 I_0 和 I ,将公式(2)、(3)和(4)化简,得到如下运算公式:

$$V'_{DATA} = EL_{VDD} - \sqrt{K_{gain}} \cdot (EL_{VDD} - V_{DATA}), \quad (5)$$

灰阶 G 与输出图像电压 V_{DATA} 的关系^[10],以及 G' 与 V'_{DATA} 的关系与驱动芯片的设计有关,如图10所示。 $V_1 \sim V_9$ 为芯片特定管脚的输入电压,灰阶对应的输出电压由线性插值产生。补偿后灰阶 G' 亦由线性插值计算得出。

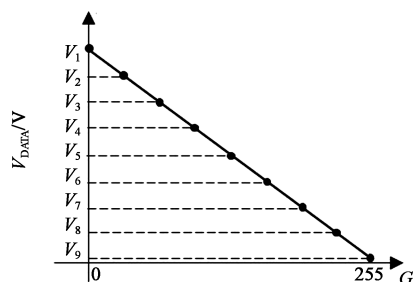


图 10 灰阶与输出电压的关系

Fig.10 Relationship of gray and voltage

4 结果与讨论

上述补偿技术经过反复评审和优化,使得方案切实可行,但仍有不足之处:

(1)开关 SW_1 和 DMUX 由 TFT 制成,侦测

时 SW_1 的源漏极电压差(V_{DS})造成侦测误差;

(2) V_{REF} 电位不好控制,容易造成侦测模式下存在一条亮线由上及下缓慢移动;

(3)像素电路的其他部分漏电造成侦测误差;

(4)硬件电路增加了存储芯片,成本和功耗有所增加。

5 结 论

运用上述的 OLED 劣化补偿技术,可实现以电学补偿的方式来补偿 OLED 器件劣化,延长 AMOLED 显示面板使用寿命,改善由于器件劣化造成的长期残像, $JND < 3.1$ 。该电学补偿技术可实现黑画面下进行电学侦测,显示模式下能够进行实时补偿运算,被视为当前最为重要的 AMOLED 显示技术之一。

参 考 文 献:

- [1] 皇甫鲁江,郑灿,李云飞,等.一种 LTPS-TFT AMOLED 像素电路的理论研究[J].液晶与显示,2017,32(8): 614-621.
HUANGFU L J, ZHENG C, LI Y F, et al. LTPS-TFT threshold voltage compensation pixel circuit for AMOLED [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(8): 614-621. (in Chinese)
- [2] TAKASUGI S, SHIN H J, CHANG M K, et al. Advanced compensation technologies for large-sized UHD OLED TVs [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2016, 24(7): 410-418.
- [3] 解红军.显示面板光学补偿装置、显示面板和光学补偿方法:中国,CN104064141A[P].2014-09-24.
XIE H J. Display panel optical compensation device, display panel and optical compensation method: CN, CN104064141A [P]. 2014-09-24. (in Chinese)
- [4] 解红军.一种 OLED 器件的老化补偿系统及方法:中国,CN106991965A [P].2017-07-28.
XIE H J. Aging compensation system of OLED device and method: CN, CN106991965A [P]. 2017-07-28. (in Chinese)
- [5] NATHAN A, CHAJI R G. OLED luminance degradation compensation: US, US8026876 [P]. 2011-09-27.
- [6] 郑镇泰,川岛进吾.像素和使用该像素的有机发光显示装置:中国,CN102314829A[P].2012-01-11.
JEONG J T, SHINGO K. Pixel and organic light emitting display using the same: CN, CN102314829A [P]. 2012-01-11. (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] 陈峰.OLED 驱动芯片设计及其测试验证平台构建[D].上海:上海大学,2006.
CHEN F. Design of OLED driver IC and structure of test platform [D]. Shanghai: Shanghai University, 2016. (in Chinese)
- [9] 李哲源,金承泰.感测电路及具有该感测电路的有机发光二极管显示装置:中国,CN105741782A[P].2016-07-06.
LEE C, KIM S. Sensing circuit and organic light emitting diode display including: CN, CN105741782A [P]. 2016-07-06. (in Chinese)
- [10] 翁梦婷.OLED 显示驱动控制电路的设计[D].杭州:浙江大学,2016.

WENG M T. Design of OLED display driver control circuit [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016. (in Chinese)

作者简介:



解红军(1981—),男,黑龙江桦南人,学士,工程师,2004 年于哈尔滨理工大学获得学士学位,主要从事 AMOLED 显示屏电学补偿技术的研究。E-mail: xiehj01@visionox.com



张小宝(1985—),男,江苏省徐州人,硕士,经理,2016 年于苏州大学获得硕士学位,主要从事 AMOLED 显示技术的研究。E-mail: zhangxb@visionox.com