

文章编号:1007-2780(2019)04-0366-13

一种可预测 TFT-LCD 垂直串扰水平的定量分析方法

周 焱*, 袁剑峰, 吴海龙, 但 艺, 毛大龙, 付剑波, 朱海鹏

(京东方科技集团股份有限公司 重庆京东方光电科技有限公司, 重庆 400700)

摘要: 电容耦合和 TFT 漏电引起的垂直串扰问题在高分辨率液晶显示器产品上变得较为突出, 大大影响了产品良率。业内通常采用 VESA 2.0 标准利用窗口画面测试串扰水平, 但目前还没有一种预测串扰水平的定量分析方法。本文从垂直串扰形成机理出发, 提出了一种可预测垂直串扰水平的定量分析方法, 可预测出不同模式产品垂直串扰最严重的画面, 有利于我们更好地研究和分析产品的品质。首先, 通过分析垂直串扰机理, 得到了垂直串扰现象与源电压差之间的定性对应关系。然后, 通过分析 $V-T$ 曲线, 得到窗口画面下的亮度变化与源电压差之间的定量关系 $|\Delta L| = k\alpha |\Delta V|$ 。通过 PCB 板上的输出节点可以得到各灰阶对应的正负源电压, 依据灰阶画面对应的源电压找到 $V-T$ 曲线上对应的点可求出对应的斜率 k 值, 依据漏电机理可求出对应的源电压差值 $|\Delta V|$, $|\Delta V|$ 变化不大时可认为漏电电压降系数 α 为定值, 故可计算出不同灰阶背景画面在窗口画面影响下的亮度变化值 $|\Delta L|$, 将 $|\Delta L|$ 除以 $V-T$ 曲线上对应灰阶的亮度值即可得到串扰值, 通过比较不同窗口画面的串扰计算值即可得出串扰最严重的画面。最后, 采用 VESA 2.0 标准方法测试不同窗口画面下的垂直串扰水平, 与此方法的计算结果进行比较, 串扰变化趋势吻合较好, TN 和 ADS 模式下的线性相关系数分别达 0.98 和 0.93 以上。结果表明, 此方法可以用来定量地研究产品垂直串扰的问题。

关键词: 液晶显示器; 垂直串扰; 电容耦合; TFT 漏电; $V-T$ 曲线

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193404.0366

Aquantitative analysis method for predicting vertical crosstalk level in TFT-LCD

ZHOU Yan*, YUAN Jian-feng, WU Hai-long, DAN Yi,

MAO Da-long, FU Jian-bo, ZHU Hai-peng

(Chongqing BOE Optoelectronics CO., LTD, BOE Technology Group CO., LTD,
Chongqing 400700, China)

Abstract: The problem of vertical crosstalk caused by capacitive coupling and TFT leakage becomes particularly prominent in high-resolution TFT-LCD products, which greatly affects the yield of products. The industry usually uses VESA 2.0 standard to test crosstalk level by window patterns, but there is still no quantitative analysis method to predict crosstalk level. Based on the formation mechanism of vertical crosstalk. A quantitative analysis method for predicting the vertical crosstalk level was proposed in this paper, which can predict the most serious vertical crosstalk patterns of products with

收稿日期: 2018-09-18; 修订日期: 2019-01-15.

* 通信联系人, E-mail: zhouyan@boe.com.cn

different display modes, and was conducive to better study and analyze the quality of products. Firstly, by analyzing the mechanism of vertical crosstalk, the qualitative correspondence between vertical crosstalk and source voltage difference was obtained. Secondly, by analyzing the V - T curve, the quantitative relationship between brightness variation $|\Delta L|$ under the window pattern and Source voltage difference $|\Delta V|$ can be obtained. The positive and negative source voltages corresponding to each gray level can be obtained through the output nodes on the PCB board. The corresponding points on the V - T curve can be found according to the corresponding source voltages of the gray level patterns and the corresponding slope k values can be obtained. According to the leakage mechanism, the corresponding source voltage difference $|\Delta V|$ can be calculated. If the leakage voltage drop coefficient is α , there is the formula: $|\Delta L| = k\alpha |\Delta V|$. The crosstalk value can be obtained by dividing $|\Delta L|$ by the brightness value of corresponding gray scale on V - T curve. The most serious crosstalk pattern can be obtained by comparing the crosstalk calculation values of different window patterns. Finally, compared with the VESA 2.0 standard method to test the vertical crosstalk level under different window patterns, the crosstalk variation trend calculated by this method can be fit well. The linear correlation coefficients in TN and ADS modes are 0.98 and 0.93 respectively. The results show that this method can be used for quantitatively studying the vertical crosstalk of products.

Key words: TFT-LCD; vertical crosstalk; capacitive coupling; TFT leakage; V - T curve

1 引言

在 TFT-LCD 的发展历程中,长期存在一些显示不良问题,比如残像、串扰等^[1-3]。人们将串扰(crosstalk)定义为整个屏幕中某一区域的显示会受到另一区域的影响,而造成画面失真的一种显示异常现象。由于 TFT-LCD 的像素在水平方向和垂直方向上呈阵列形式排列,故串扰现象分为水平串扰(Horizontal crosstalk)和垂直串扰(Vertical crosstalk)两种。水平串扰与时间响应因素相关,机理是数据线与共电极之间的耦合电容 C_{dc} 使得共电极电压发生偏离造成的。垂直串扰与数据线和像素之间的相互作用相关,机理有两种:一是数据线与像素电极之间的耦合电容 C_{pd} 使得像素电极电压发生偏离,二是 TFT 关闭时漏电使得像素电压发生偏离^[4-5]。

随着 TFT-LCD 产品朝着高分辨率、高开口率方向发展,像素尺寸和线宽线间距被设计得越来越小,单根信号线上的像素和 TFT 数量越来越多。信号线之间的电磁干扰和像素之间的电容耦合作用加剧^[6]。同时,a-Si 技术发展到现在,a-Si 特性已到达瓶颈,TFT 漏电流已经难以进一步降低。这些原因都会导致串扰问题在高分辨率 TFT-LCD 产品上变得较为突出^[7-8]。业内通常

采用 VESA 2.0 测试标准来表征串扰水平,目前还并没有一种可预测串扰水平的定量分析方法。

本文针对垂直串扰发生机理,提出了一种可预测垂直串扰水平的定量分析方法。首先,通过分析垂直串扰机理,得到了垂直串扰现象与源电压差之间的定性对应关系。然后,通过分析 V - T 曲线,得到了亮度变化与源电压差之间的关系即亮度差公式,进而可直接得到不同画面下的垂直串扰水平。最后,将计算得到的结果与 VESA 2.0 测试结果进行比较,串扰变化趋势吻合度很高,证明了亮度差公式和此分析方法的可靠性。实验结果证明,此方法可用于定量地研究 TFT-LCD 产品的垂直串扰问题,为改善这类不良提供了新工具。

2 垂直串扰机理与像素电压变化

2.1 垂直串扰的发生机理

图 1 为 TFT-LCD 像素结构示意图。在像素充电完成 TFT 关闭后,源极数据线与像素电极本应处于完全断开状态,但当源极数据线给其他行像素充电时,数据线电压发生变化,数据线与此像素电极之间的耦合电容 C_{pd} 会拉动像素电极电压发生偏离,导致亮度发生改变,产生垂直串扰现象。另外,如果 TFT 关闭后漏电流过大(即 I_{off} 大),数据线电极电压发生变化后与像素电极形成

压差,像素电极电压会通过 TFT 漏电而发生偏离,同样会导致亮度改变,产生垂直串扰现象。故垂直串扰的发生机理有两种:一是 C_{pd} 电容耦合机理,二是 TFT 漏电机理。

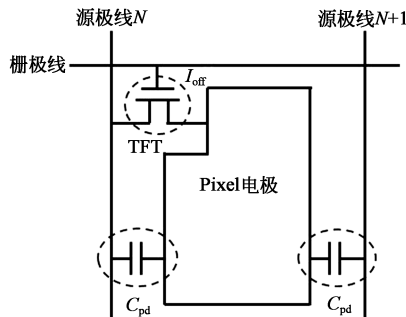


图 1 TFT-LCD 像素结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of TFT-LCD pixel structure

2.2 电容耦合机理下的像素电压变化

在不同的显示模式和反转方式下, C_{pd} 电容耦合机理产生的垂直串扰现象是不一样的。下面分别对 TN/ADS 两种显示模式、帧反转/行反转/列反转 3 种反转方式情况下的垂直串扰现象进行说明和分析。

2.2.1 帧反转方式

在帧反转的情况下,TN 型 TFT-LCD 的黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 2 所示。假设要显示的图像为灰阶背景+黑窗口如图 2(a1)所示,假设正极性帧中像素 A_1 所在行 TFT 开启后,像素 A_1 充电至 L127 灰阶上,随后本行 TFT 关闭。直到黑窗口区域水平范围内第一根扫描线开启时,垂直方向的源数据线将输出更高的电压,由于电容耦合效应,这些数据线上的电压变化会导致像素 A_1 和 A_2 的电压被拉高。此时,像素 A_1 已开启并充电,像素 A_2 尚未开启,仍保持上一负极性帧中的电位,它们的像素电极波形如图 2(a3)所示。对于像素 A_1 而言,其像素电极与公共电极之间的电压差变大,实际显示的灰阶更暗;对于像素 A_2 而言,其像素电极与公共电极之间的电压差变小,实际显示的灰阶更亮,故呈现出上黑下白的垂直串扰现象如图 2(a2)所示。如果要显示的图像为灰阶背景+白窗口如图 2(b1)所示,则会呈现出上白下黑的垂直串扰现象如图 2(b2)所示。

对于 ADS 型 TFT-LCD 而言,黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如

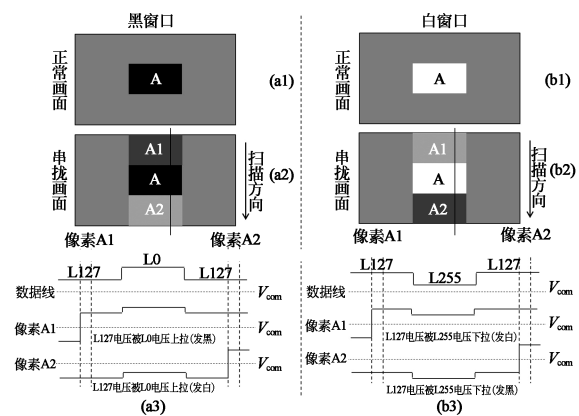


图 2 基于电容耦合机理的 TN 型帧反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.2 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of TN type frame inversion based on capacitive coupling mechanism

图 3 所示。波形分析与 TN 型类似,黑、白窗口对应产生的垂直串扰现象与 TN 型相同。

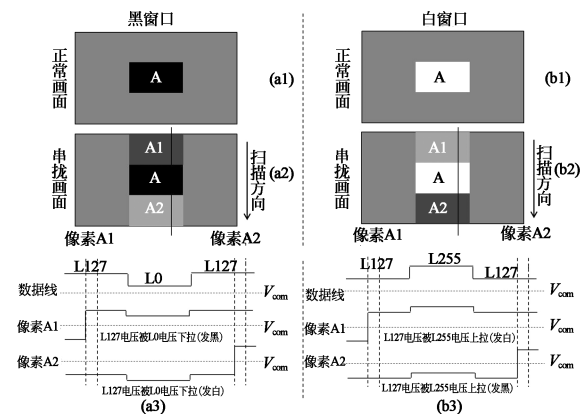


图 3 基于电容耦合机理的 ADS 型帧反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.3 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of ADS type frame inversion based on capacitive coupling mechanism

2.2.2 行反转方式

在行反转的情况下,TN 型 TFT-LCD 的黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 4 所示。假设要显示的图像如图 4(a1)所示,此时数据线上的像素 A_1 和 A_2 电压波形如图 4(a3)所示。同帧反转一样,数据线上的电压变化会将像素 A_1 和 A_2 的电压一时拉高一时拉低,因此实际显示的灰阶需考虑正负极性帧的综合效果,垂直串扰现象整体比较轻微。如果要

显示的图像为灰阶背景+白窗口如图 4(b1)所示,则会呈现出上白下黑的垂直串扰现象如图 4(b2)所示。

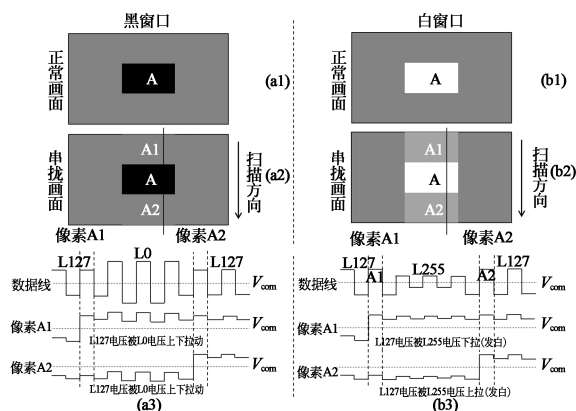


图4 基于电容耦合机理的 TN 型行反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.4 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of TN type line inversion based on capacitive coupling mechanism

对于 ADS 型 TFT-LCD 而言,黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 5 所示。与 TN 型类似,黑窗口呈现出上黑下黑的垂直串扰现象如图 5(a2)所示,白窗口串扰比较轻微。

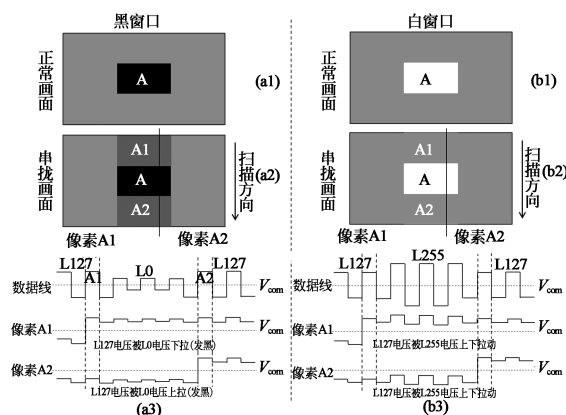


图5 基于电容耦合机理的 ADS 型行反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.5 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of ADS type line inversion based on capacitive coupling mechanism

2.2.3 列反转方式

在列反转的情况下,由于相邻数据线的极性相反,需要考虑像素电极与自身数据线之间的耦合电容以及像素电极与相邻数据线之间的耦合电

容。如果这两个耦合电容值相等,由于极性相反可以产生相互抵消的效果。如果这两个耦合电容值不相等,它们之间的差别仍可能导致垂直串扰现象,只是在耦合效应抵消之后会比帧反转和行反转小得多。

对于 TN 型 TFT-LCD 而言,当像素电极受自身数据线的耦合电容影响大于相邻数据线时,垂直串扰现象和电压波形与帧反转情况相同,但程度相对较轻;当像素电极受相邻数据线的耦合电容影响大于自身数据线时,垂直串扰现象和电压波形与帧反转情况相反。黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 6 所示。

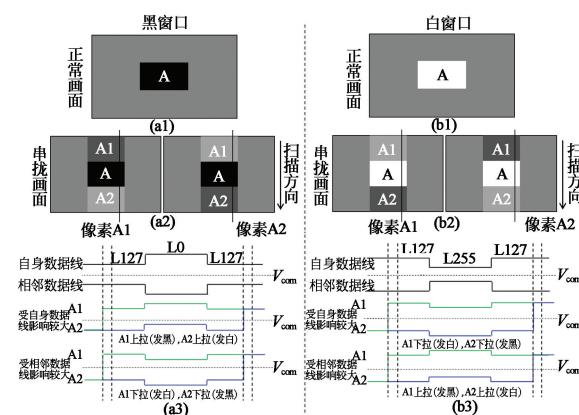


图6 基于电容耦合机理的 TN 型列反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.6 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of TN type column inversion based on capacitive coupling mechanism

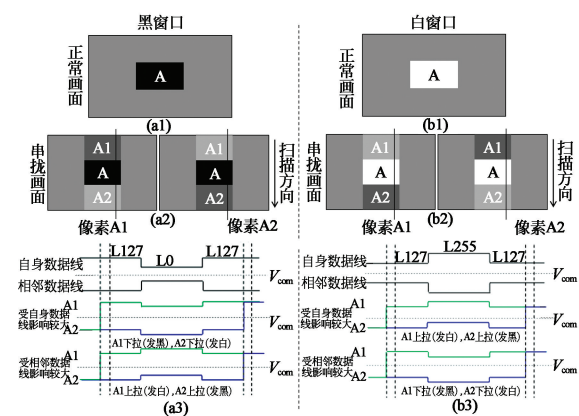


图7 基于电容耦合机理的 ADS 型列反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.7 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of ADS type column inversion based on capacitive coupling mechanism

对于 ADS 型 TFT-LCD 而言,黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 7 所示,与 TN 型类似。

2.3 TFT 漏电机理下的像素电压变化

由于 a-Si TFT 始终存在一定的漏电流 (I_{off}),在像素电压保持阶段,像素电极会漏电到自身的数据线上造成像素电压的变化,产生垂直串扰不良。在不同的显示模式和反转方式下,TFT 漏电机理产生的垂直串扰现象同样是有差别的。由于像素电极的漏电只能往自身数据线进行,与相邻数据线无关,故列反转与帧反转方式下的垂直串扰情况完全相同。下面分别对 TN/ADS 两种显示模式、帧反转/行反转两种反转方式情况下的垂直串扰现象进行说明和分析。

2.3.1 帧反转方式

在帧反转的情况下,TN 型 TFT-LCD 的黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 8 所示。

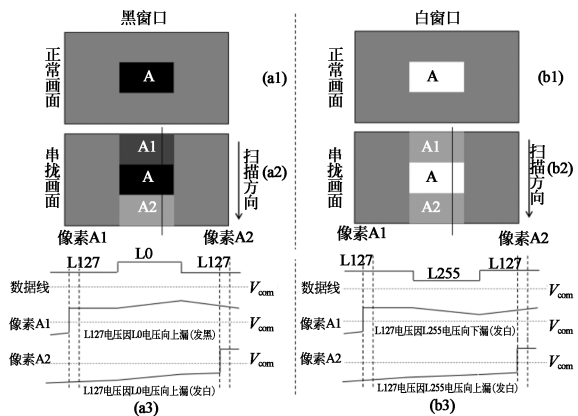


图 8 基于 TFT 漏电机理的 TN 型帧反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.8 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of TN type frame inversion based on TFT leakage mechanism

假设要显示的图像为灰阶背景+黑窗口如图 8(a1)所示,比较像素 A_1 和 A_2 。位于上方的像素 A_1 ,在第一条扫描线开启之后,假设约于 $1/6$ 的帧时间写入像素电压,之后约 $5/6$ 的帧时间内,其对应的数据线电压与像素电压极性相同;然后进入下一帧,写入电压的极性反转,此时约有 $1/6$ 的帧时间,像素电压与数据线上的电压极性相反。位于下方的像素 A_2 ,在第一条扫描线开启之后,约于 $5/6$ 的帧时间写入像素电压,之后约 $1/6$ 的

帧时间内,其对应的数据线电压与像素电压极性相同;然后进入下一帧,写入电压的极性反转,约有 $5/6$ 的帧时间,像素电压与数据线上的电压极性相反。也就是说,像素 A_1 约有 $1/6$ 的时间向极性相反的电压漏电,像素 A_2 约有 $5/6$ 的时间向极性相反的电压漏电。因此,像素 A_2 因为漏电而导致的电压变化值会比像素 A_1 严重。由于 TFT 漏电的时间比例,会随着扫描顺序由上往下变动,会在灰阶背景中呈现出渐变效果。受到黑窗口影响,像素 A_1 会向同极性的数据线漏电导致电压升高而发黑,像素 A_2 会向极性相反的数据线漏电导致电压升高而发白,同时在 A_1 和 A_2 区也会产生渐变的垂直串扰现象。

如果是要显示的图像为灰阶背景+白窗口如图 8(b1)所示,像素 A_1 会向同极性的数据线漏电导致电压下降而发白,像素 A_2 会向极性相反的数据线漏电导致电压升高而发白,同时在 A_1 和 A_2 区也会产生渐变的垂直串扰现象。

对于 ADS 型 TFT-LCD 而言,黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 9 所示。受到黑窗口影响,像素 A_1 会向同极性的数据线漏电导致电压下降而发黑,像素 A_2 会向极性相反的数据线漏电导致电压升高而发黑,同时在 A_1 和 A_2 区也会产生渐变的垂直串扰现象。受到白窗口影响,像素 A_1 会向同极性的数据线漏电导致电压上升而发白,像素 A_2 会向极性相反的数据线漏电导致电压升高而发黑,同时在 A_1 和 A_2

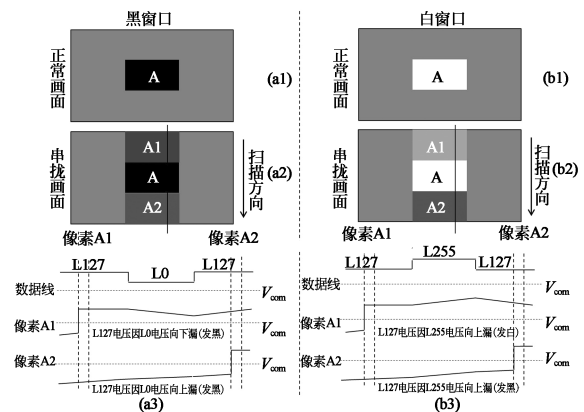


图 9 基于 TFT 漏电机理的 ADS 型帧反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.9 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of ADS type frame inversion based on TFT leakage mechanism

区也会产生渐变的垂直串扰现象。

2.3.2 行反转方式

在行反转的情况下, TN 型 TFT-LCD 的黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 10 所示。假设要显示的图像为灰阶背景+黑窗口如图 10(a1)所示, 像素 A_1 和像素 A_2 的电压因为数据线上的正负极性电压变化时而上升时而下降, 整体来看没有明显升高或降低, 故垂直串扰现象轻微不可见。如果要显示的图像为灰阶背景+白窗口如图 10(b1)所示, 像素 A_1 的正极性电压因为数据线上的电压变化整体有所下降, 像素 A_2 的负极性电压因为数据线上的电压变化整体有所上升, 故呈现出上白下白的垂直串扰现象。

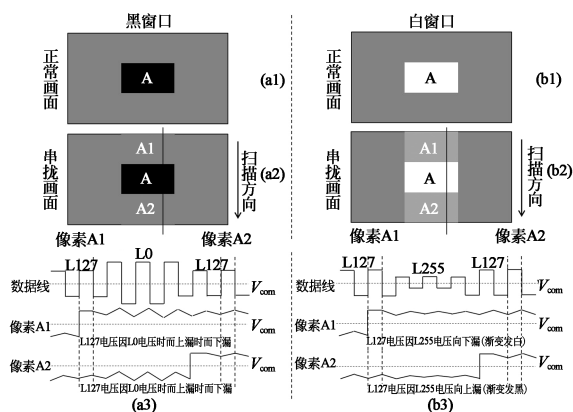


图 10 基于 TFT 漏电机理的 TN 型行反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.10 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of TN type line inversion based on TFT leakage mechanism

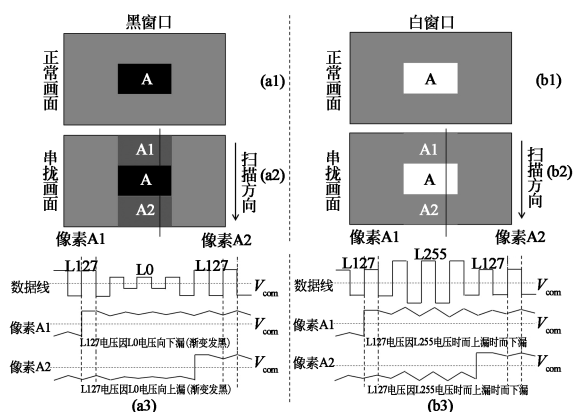


图 11 基于 TFT 漏电机理的 ADS 型行反转垂直串扰现象和波形分析

Fig.11 Vertical crosstalk phenomenon and waveform analysis of ADS type line inversion based on TFT leakage mechanism

对于 ADS 型 TFT-LCD 而言, 黑窗口和白窗口画面的垂直串扰现象和像素电压波形分析如图 11 所示。原理与 TN 型类似, 黑窗口下呈现出上黑下黑的垂直串扰现象, 白窗口下垂直串扰轻微不可见。

3 垂直串扰分析方法

3.1 VESA 2.0 标准测试方法

为了检验产品的光学特性是否满足设计要求需对产品的光学特性进行评估, 美国视频电子标准协会(VESA)针对平板显示界面接口和电气特性方面制定相关标准, 其中平板显示测量方法已被广泛应用于显示领域, 目前推出的新版本为 VESA 2.0 标准, 其中就包括 Crosstalk 评价方法。Crosstalk 测试方法与面板示意图如图 12 所示。

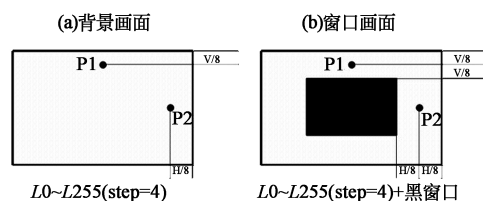


图 12 VESA 2.0 方法测试串扰示意图

Fig.12 Schematic diagram of Crosstalk tested by VESA 2.0

当显示如图 12(a) 的纯灰阶背景画面时, 用亮度测量仪(如 PR730 等)测量在背景灰阶分别为 $L_0, L_4, \dots, L_{255}$ (间隔 4 灰阶) 画面下 P_1 和 P_2 点的亮度值 $L_{1j}, L_{2j} (j=0, 4, \dots, 255)$ 。将画面切换至如图 12(b) 的背景灰阶+黑窗口的窗口画面, 用亮度测量仪(如 PR730 等)分别测量在背景灰阶分别为 $L_0, L_4, \dots, L_{255}$ (间隔 4 灰阶)+黑窗口画面下 P_1 和 P_2 点的亮度值 $L_{1n}, L_{2n} (n=0, 4, \dots, 255)$ 。则测量出的垂直和水平串扰值分别为:

$$\text{垂直 CT}(\%) = \text{Max} \left\{ \left| \frac{(L_{1n} - L_{1j})}{L_{1j}} \right| \times 100\% \right\}, \quad (1)$$

$$\text{水平 CT}(\%) = \text{Max} \left\{ \left| \frac{(L_{2n} - L_{2j})}{L_{2j}} \right| \times 100\% \right\}, \quad (2)$$

其中, $n=j=0, 4, \dots, 255$ 。

VESA 2.0 方法评价串扰水平的原理实际上就是测量窗口画面下各个背景灰阶的亮度变化率,取各个灰阶下的最大值代表串扰水平。窗口画面可采用黑窗口、白窗口或其他颜色窗口。

VESA 方法只是一个测量方法,将主观的串扰现象转换为客观的数值,有利于衡量和比较产品的串扰水平。在没有测量亮度的情况下,目前还没有方法能够得到产品的串扰水平。因此,本文提出了一种在不测量亮度情况下的垂直串扰水平分析方法。

3.2 电压-透过率曲线分析

由于垂直串扰机理与像素电压变化有关,串扰现象是亮度变化的直观反映,故考虑分析电压-透过率(V-T)曲线,从中得到亮度变化与电压差的关系^[9-11]。

TN 常白模式和 ADS 常黑模式的 V-T 曲线分别如图 13(a)和图 13(b)所示。V-T 曲线上的点横轴为源极数据线电压,纵轴为对应的归一化亮度(最大亮度为 100%)。由于 V-T 曲线是通过给数据线外加直流电压来测量的,不存在电容耦合和漏电等问题,可认为曲线上的数据线电压与对应灰阶的像素电压没有差别。

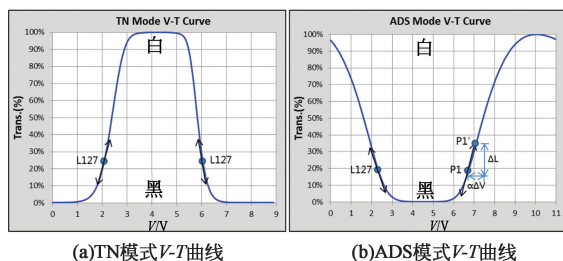


图 13 TN 和 ADS 模式电压-透过率曲线
Fig.13 V-T curves of TN and ADS modes

下面从 V-T 曲线的角度来描述串扰现象。如图 13(b)所示,假设 ADS 模式下纯灰阶 L_{127} 画面在 V-T 曲线上对应的点为 P_1 ,纯灰阶 L_{127} 画面+黑窗口的窗口画面在 V-T 曲线上对应的点为 P_1' 。 P_1 和 P_1' 两点越接近则表示串扰程度越轻,两点距离越远则表示串扰程度越重。 P_1 和 P_1' 两点的横坐标的差值代表了背景画面和窗口画面下像素电压的变化,纵坐标的差值代表了背景画面和窗口画面下亮度的变化。

3.3 垂直串扰分析方法

通常串扰产生的亮度变化幅度较小即 P_1 和

P_1' 两点比较接近, P_1 和 P_1' 连线的斜率可近似为 P_1 点在 V-T 曲线上的斜率,故亮度变化与电压变化的关系式可表达为:

$$|\Delta L| = k\alpha |\Delta V|, \quad (3)$$

其中: $|\Delta L|$ 为背景画面与窗口画面的亮度差值, k 为背景灰阶画面在 V-T 曲线对应点的斜率, α 为耦合电压拉动系数或漏电电压降系数, $|\Delta V|$ 为耦合电压幅值差或漏电 SD 压差。

α 是未知数,与 $|\Delta V|$ 相关,若 $|\Delta V|$ 变化不大,可认为 α 是一常数。 $|\Delta V|$ 的大小可通过 C_{pd} 耦合或者 TFT 漏电机理的压差直接求得。 k 为常数,可通过 V-T 曲线求得。因此,在不测量亮度的情况下即可求得亮度的变化 $|\Delta L|$,从而判断垂直串扰水平。 $|\Delta L|/L$ 即是 VESA 方法评价的串扰值。

4 实验结果与讨论

为了验证此垂直串扰分析方法和公式(3)的准确性,分别对不同窗口下的垂直串扰和不同背景下的垂直串扰进行定性和定量地分析。本实验采用苏州弗士达公司光学测量系统测量串扰值用作对比;采用示波器测量各个灰阶下的正负极性源极信号电压;采用 V-T 测试平台测试 V-T 曲线;选择两款串扰严重的样品:15.6FHD TN 和 14.0FHD HADS,驱动均为列反转(目前列反转是主流方式),HADS 模式衍生于 ADS 模式。

4.1 不同窗口下的垂直串扰

图 14 是用光学测量系统测量垂直串扰值的示意图,Panel 竖直放置,PCB 朝下,行扫描方向从 DPO 侧到 DP 侧,垂直串扰测量点位为 A_1 和 A_2 。

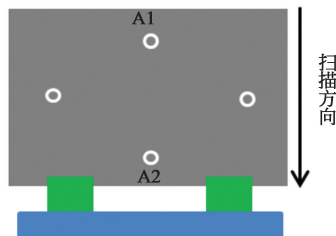


图 14 光学系统测量垂直串扰示意图

Fig.14 Schematic diagram for measuring vertical crosstalk in Optical System

表 1 为 15.6FHD TN 和 14.0FHD HADS 两款产品在 L_{127} 背景下的垂直串扰测量结果。

TN 产品的垂直串扰在黑窗口下最严重,白窗口下最轻,红/绿/蓝窗口程度居中,值约为黑窗口的 2/3;HADS 产品的垂直串扰在白窗口下最严重,

黑窗口下最轻,红/绿/蓝窗口程度居中,值约为白窗口的 1/3。无论是 TN 还是 HADS 模式,均是 A_2 串扰比 A_1 严重。

表 1 TN 和 HADS 产品的亮度和垂直串扰值

Tab.1 Results of luminance and vertical crosstalk for TN and HADS products

测试图像	15.6FHD TN				14.0FHD HADS			
	$L/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$		Crosstalk		$L/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$		Crosstalk	
	A_1	A_2	$\text{Ct}(A_1)$	$\text{Ct}(A_2)$	A_1	A_2	$\text{Ct}(A_1)$	$\text{Ct}(A_2)$
L_{127} (背景)	82.02	75.77	—	—	94.72	86.68	—	—
L_{127} + 黑窗口	77.91	84.03	5.01%	10.90%	94.16	86.73	0.59%	0.06%
L_{127} + 白窗口	81.86	75.37	0.20%	0.53%	110.30	65.84	16.45%	24.04%
L_{127} + 红窗口	79.48	80.47	3.10%	6.20%	100.10	76.81	5.68%	11.39%
L_{127} + 绿窗口	79.35	80.44	3.26%	6.16%	103.00	71.82	8.74%	17.14%
L_{127} + 蓝窗口	79.11	80.49	3.55%	6.23%	99.68	77.17	5.24%	10.97%

下面用本文提出的分析方法来解释上述垂直串扰现象。由于背景灰阶不变均为 L_{127} ,可认为不同窗口下的 k 值为一常数。通过分析垂直串扰机理,可以对黑白窗口的 ΔV 进行计算。例如,15.6FHD TN 产品,在黑窗口下,正帧情况 A_1 的

电压差 $\Delta V = 6.32 - 7.80 = -1.48 \text{ V}$,而 A_2 的电压差 $\Delta V = 2.12 - 7.80 = -5.68 \text{ V}$;负帧情况 A_1 的电压差 $\Delta V = 2.12 - 0.12 = 2.00 \text{ V}$,而 A_2 的电压差 $\Delta V = 6.32 - 0.12 = 6.20 \text{ V}$,其他情况以此类推,结果如表 2 所示。

表 2 不同窗口下的电压差计算结果(单位:V)

Tab.2 Calculation results of ΔV under different window patterns (Unit: Volt)

项目		15.6FHD TN			14.0FHD HADS			
		正帧	负帧	分析结果	正帧	负帧	分析结果	
灰阶电压/V	L ₀	7.80	0.12	—	4.86	4.54	—	
	L ₁₂₇	6.32	2.12		6.72	2.36		
	L ₂₅₅	4.44	3.82		8.48	0.40		
电压差 ΔV/V	黑窗口	A ₁	—1.48	2.00	A ₂ >>A ₁	1.86	—2.18	A ₂ ≈A ₁
		A ₂	—5.68	6.20		—2.50	2.18	
	白窗口	A ₁	1.88	—1.70	A ₂ ≈A ₁	—1.76	1.96	A ₂ ≥A ₁
		A ₂	—2.32	2.50		—6.12	6.32	

黑白窗口对 A_1 和 A_2 的像素电压变化幅值为 $\alpha|\Delta V|$, $|\Delta V|$ 变动不大时可将 α 看做常数,可通过 ΔV 值定性地判断垂直串扰的水平。在表 2 中,TN 产品黑窗口的 $|\Delta V|$ 值明显大于白窗口,故可推断 TN 产品黑窗口产生的亮度变化 $|\Delta L|$ 大于白窗口,由此可知黑窗口的垂直串扰重于白窗口。而 HADS 产品白窗口的 $|\Delta V|$ 值明显大于

黑窗口,故可推断 HADS 产品白窗口的垂直串扰重于黑窗口。红窗口、绿窗口和蓝窗口对亮度的影响相当于 1/3 的白窗口 + 2/3 的黑窗口的影响,故 TN 产品的红/绿/蓝窗口的串扰程度介于黑窗口和白窗口之间,且值约为黑窗口的 2/3。而 HADS 产品的红/绿/蓝窗口的串扰程度介于黑窗口和白窗口之间,且值约为白窗口的 2/3。

同时,无论是 TN 还是 HADS 产品, A_2 的 $|\Delta V|$ 远大于 A_1 ,故总是 A_2 串扰比 A_1 严重。

用 ΔV 来定性分析不同窗口的垂直串扰水平结果与光学测试结果保持一致,说明了此方法具有一定的合理性。同时我们得到了不同窗口下的垂直串扰严重程度,此规律具有普遍性:TN 模式下黑窗口 $>$ 红/绿/蓝窗口 $>$ 白窗口,ADS 模式下

白窗口 $>$ 红/绿/蓝窗口 $>$ 黑窗口,且行扫描末端区域(即 A_2 区)最严重。

4.2 不同背景下的垂直串扰

表 3 为 15.6FHD TN 和 14.0FHD HADS 产品在 $L_{63},L_{92},L_{127},L_{160},L_{192}$ 5 种背景灰阶下的黑白窗口电压差 ΔV 。各个灰阶正负帧电压可通过示波器测量,电压差计算方法同上。

表 3 不同背景灰阶下的电压差计算结果
Tab.3 Calculation results of ΔV under different background patterns (V)

项目			15.6FHD TN		14.0FHD HADS	
			正帧	负帧	正帧	负帧
灰阶电压	L ₆₃	L ₆₃	6.68	1.52	6.12	2.92
		L ₉₂	6.50	1.82	6.44	2.64
		L ₁₂₇	6.32	2.12	6.72	2.36
		L ₁₆₀	6.10	2.26	7.06	2.02
		L ₁₉₂	5.98	2.42	7.38	1.62
		L ₀	7.80	0.12	4.86	4.54
		L ₂₅₅	4.44	3.82	8.48	0.40
黑窗口电压差 ΔV	L ₆₃	A ₁	−1.12	1.40	1.26	−1.62
		A ₂	−6.28	6.56	−1.94	1.58
	L ₉₂	A ₁	−1.30	1.70	1.58	−1.90
		A ₂	−5.98	6.38	−2.22	1.90
	L ₁₂₇	A ₁	−1.48	2.00	1.86	−2.18
		A ₂	−5.68	6.20	−2.50	2.18
	L ₁₆₀	A ₁	−1.70	2.14	2.20	−2.52
		A ₂	−5.54	5.98	−2.84	2.52
	L ₁₉₂	A ₁	−1.82	2.30	2.52	−2.92
		A ₂	−5.38	5.86	−3.24	2.84
白窗口电压差 ΔV	L ₆₃	A ₁	2.28	−2.30	−2.36	2.52
		A ₂	−2.92	2.86	−5.56	5.72
	L ₉₂	A ₁	2.06	−2.00	−2.04	2.24
		A ₂	−2.62	2.68	−5.84	6.04
	L ₁₂₇	A ₁	1.88	−1.70	−1.76	1.96
		A ₂	−2.32	2.50	−6.12	6.32
	L ₁₆₀	A ₁	1.66	−1.56	−1.42	1.62
		A ₂	−2.18	2.28	−6.46	6.66
	L ₁₉₂	A ₁	1.54	−1.40	−1.10	1.22
		A ₂	−2.02	2.16	−6.86	6.98

下面来推断 15.6FHD TN 产品黑窗口在不同背景下的垂直串扰水平。表 4 为 15.6FHD TN 产品黑窗口负帧的 k 值及 $k|\Delta V|$ 结果。由于正帧和负帧情况类似,以负帧电压数据进行计算即可。 $|\Delta V|$ 数据为表 3 内的计算数据。对应灰阶下的 k 值可通过对应的负帧电压在 V - T 曲线上求得,由于 V - T 曲线将最大亮度归一化

为 100%,得到的 k 值单位为 V^{-1} 。因此, $k|\Delta V|$ 为无量纲的量。对于 A_1 或 A_2 来说,在不同灰阶下的 $|\Delta V|$ 差异较小,可将 α 看做常数,故 $|\Delta L|$ 与 $k|\Delta V|$ 成正比, $k|\Delta V|$ 的变化即可反映 $|\Delta L|$ 的变化。

同时,使用光学测量系统测量 15.6FHD TN 产品在不同背景下的垂直串扰结果如表 5 所示。

表 4 TN 产品黑窗口负帧的 $k|\Delta V|$ 计算结果

Tab.4 Calculation results of $k|\Delta V|$ under negative frame in black window for TN products

灰阶	负帧电压/V	电压差 $\Delta V/V$		k 值 (V^{-1})	$k \Delta V $	
		A_1	A_2		A_1	A_2
L_{63}	1.52	1.40	6.56	0.150	0.210	0.984
L_{92}	1.82	1.70	6.38	0.390	0.663	2.488
L_{127}	2.12	2.00	6.20	0.748	1.496	4.638
L_{160}	2.26	2.14	5.98	0.859	1.838	5.137
L_{192}	2.42	2.30	5.86	0.960	2.208	5.626

表 5 TN 产品的亮度和垂直串扰值

Tab.5 Results of luminance and vertical crosstalk for TN product

测试图像	$L/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$		$ \Delta L /(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$		Crosstalk	
	A_1	A_2	A_1	A_2	$\text{Ct}(A_1)$	$\text{Ct}(A_2)$
L_{63}	23.86	20.92	—	—	—	—
$L_{63} + \text{黑}$	22.95	23.84	0.91	2.92	3.81%	13.96%
$L_{63} + \text{白}$	23.73	20.67	0.13	0.25	0.54%	1.20%
L_{92}	47.31	42.85	—	—	—	—
$L_{92} + \text{黑}$	45.29	48.38	2.02	5.53	4.27%	12.91%
$L_{92} + \text{白}$	47.11	42.45	0.20	0.40	0.42%	0.93%
L_{127}	82.02	75.77	—	—	—	—
$L_{127} + \text{黑}$	77.91	84.03	4.11	8.26	5.01%	10.90%
$L_{127} + \text{白}$	81.86	75.37	0.16	0.40	0.20%	0.53%
L_{160}	115.6	109.1	—	—	—	—
$L_{160} + \text{黑}$	110.6	119.2	5.00	10.10	4.33%	9.26%
$L_{160} + \text{白}$	115.4	108.7	0.20	0.40	0.17%	0.37%
L_{192}	152.6	146.6	—	—	—	—
$L_{192} + \text{黑}$	147.3	156.5	5.30	9.90	3.47%	6.75%
$L_{192} + \text{白}$	152.5	146.4	0.10	0.20	0.07%	0.14%

将不同背景灰阶下的实测 $|\Delta L|$ 值与计算出的 $k|\Delta V|$ 值进行线性拟合,如图 15 所示。 A_1 和 A_2 的实测 $|\Delta L|$ 值与 $k|\Delta V|$ 值随背景灰阶的变化趋势均十分吻合,两者线性相关系数均达 0.98 以上,证明了公式(3)以及分析方法的准确性。

采用相同的过程来推断 14.0FHD HADS 产品白窗口在不同背景下的垂直串扰水平。以正帧电压数据进行计算,表 6 为 14.0FHD HADS 产品白窗口正帧的 k 值及 $k|\Delta V|$ 结果。表 7 为 14.0FHD HADS 产品在不同背景下的垂直串扰实测结果。

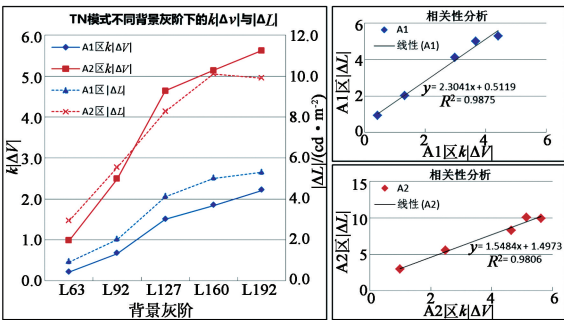


图 15 TN 模式不同背景灰阶下的 $k|\Delta V|$ 与 $|\Delta L|$
Fig.15 $k|\Delta V|$ and $|\Delta L|$ in different background patterns for TN mode

表 6 HADS 产品白窗口正帧的 $k|\Delta V|$ 计算结果(单位:无量纲)

Tab.6 Calculation results of $k|\Delta V|$ under positive frame in white window for HADS products (Unit: dimensionless)

灰阶	正帧电压/V	电压差 ΔV /V		k 值 (V^{-1})	$k \Delta V $	
		A_1	A_2		A_1	A_2
L_{63}	6.12	2.36	5.56	0.125	0.295	0.695
L_{92}	6.44	2.04	5.84	0.266	0.543	1.553
L_{127}	6.72	1.76	6.12	0.400	0.704	2.448
L_{160}	7.06	1.42	6.46	0.451	0.640	2.913
L_{192}	7.38	1.1	6.86	0.437	0.481	2.998

表 7 HADS 产品的亮度和垂直串扰值

Tab.7 Results of luminance and vertical crosstalk for HADS product

测试图像	$L/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$		$ \Delta L /(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$		Crosstalk/%	
	A_1	A_2	A_1	A_2	$\text{Ct}(A_1)$	$\text{Ct}(A_2)$
L_{63}	17.93	16.28	—	—	—	—
L_{63} + 黑	17.78	16.27	0.15	0.01	0.84	0.06
L_{63} + 白	23.73	11.25	5.8	5.03	32.35	30.90
L_{92}	47.61	43.54	—	—	—	—
L_{92} + 黑	47.36	43.57	0.25	0.03	0.53	0.07
L_{92} + 白	60.05	30.9	12.44	12.64	26.13	29.03
L_{127}	94.72	86.68	—	—	—	—
L_{127} + 黑	94.16	86.73	0.56	0.05	0.59	0.06
L_{127} + 白	110.3	65.84	15.58	20.84	16.45	24.04
L_{160}	160.6	149	—	—	—	—

得到的实测 $|\Delta L|$ 值与计算出的 $k|\Delta V|$ 值如图 16 所示。在 HADS 产品中, A_1 和 A_2 的实测 $|\Delta L|$ 值与 $k|\Delta V|$ 值随背景灰阶的变化趋势同样十分吻合,两者线性相关系数均超过 0.93,再次证明了公式(3)和分析方法的准确性。

同时,我们也得到了 TN 和 HADS 模式下不同背景灰阶的垂直串扰水平:TN 模式黑窗口的垂直串扰严重程度与 HADS 模式白窗口的垂直串扰严重程度规律相同,均为 $L_{63} > L_{92} > L_{127} > L_{160} > L_{192}$ 。

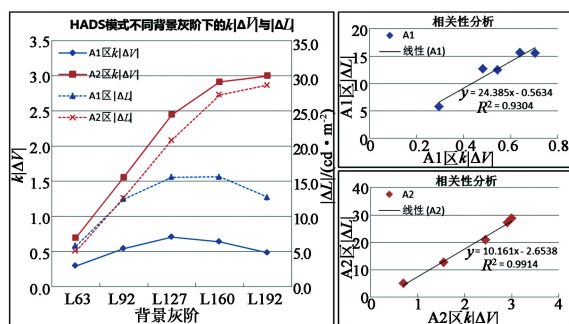


图 16 HADS 模式不同背景灰阶下的 $k|\Delta V|$ 与 $|\Delta L|$

Fig.16 $k|\Delta V|$ and $|\Delta L|$ in different background patterns for HADS mode

5 结 论

本文首先详细分析了垂直串扰的发生机理

参 考 文 献:

- [1] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
MA Q G. *The Principle and Design of TFT-LCD* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [2] 邵喜斌. TFT-LCD 产业与技术进展[J]. 新材料产业, 2009(1): 32-35.
SHAO X B. TFT-LCD industry and technology progress [J]. *Advanced Materials Industry*, 2009(1): 32-35. (in Chinese)
- [3] 田民波, 叶锋. TFT 液晶显示原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 34-37.
TIAN M B, YE F. *The Principle and Technology of TFT Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Science Press, 2010: 34-37. (in Chinese)
- [4] 肖文俊. 薄膜晶体管液晶显示器的串扰研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
XIAO W J. A research on crosstalk in TFT-LCDs [J]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014. (in Chinese)
- [5] 邹祥祥. 高开口率像素设计与画面品质改善的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
ZOU X X. *The research of the high aperture ratio's the pixel design and the picture quality improvement* [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012. (in Chinese)
- [6] 桑宁波. 改善 TFT-LCD 中串扰的工艺研究[D]. 上海: 复旦大学, 2011.
SANG N B. Improvement of crosstalk in TFT-LCD progress [D]. Shanghai: Fudan University, 2011. (in Chinese)
- [7] HOWARD W E, ALT P M, WISNIEFF R L. Eliminating crosstalk in thin-film transistor/liquid-crystal displays [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1989, 36(9): 1938-1942.
- [8] LIBSCH F R, LIEN A. A new driving method for reducing cross-talk in high resolution thin film transistor liquid crystal displays [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 1995, 34(12A): 6364.
- [9] SCHADT M, HELFRICH W. Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal [J]. *Applied Physics Letters*, 1971, 18(4): 127-128.
- [10] 新鹏飞. 液晶电光特性研究[J]. 应用光学, 2013, 34(1): 143-147.
JIN P F. Electro-optic characteristic of liquid crystal [J]. *Journey of Applied Optics*, 2013, 34(1): 143-147. (in Chinese)

以及电压透过率曲线, 并推导出了亮度变化 $|\Delta L|$ 的计算公式, 进而提出了一种预测垂直串扰水平的定量分析方法。然后分别研究了不同窗口(黑/白/红/绿/蓝)和不同背景灰阶($L_{63}/L_{92}/L_{127}/L_{160}/L_{192}$)下的垂直串扰情况, 得到了如下结果: TN 模式下 L_{63} + 黑窗口为垂直串扰最重图像, ADS 模式下 L_{63} + 白窗口为垂直串扰最重图像。同时, 以 TN 和 ADS 两类产品为研究对象, 与 VESA 光学测量的垂直串扰结果进行比较, 实测 $|\Delta L|$ 值与计算的 $k|\Delta V|$ 值在 TN 和 ADS 模式下的线性相关系数分别达 0.98 和 0.93 以上, 证明了公式和分析方法的准确性, 可以满足 LCD 产品垂直串扰的定量分析需求。

- [11] 孙玉宝,陈秀引,张志东,等.手性沿面排列 IPS 模式液晶盒中的电光特性[J].液晶与显示,2003,18(3): 179-182.
- SUN Y B, CHEN X Y, ZHANG Z D, *et al.* Electric-optic effects of the IPS-chiral-planar liquid crystal cell [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2003, 18(3): 179-182. (in Chinese)

作者简介:



周 焱(1988—),男,湖北黄冈人,硕士,高级工程师,2014 年于中国科学院大学获得硕士学位,主要从事 TFT-LCD 面板产品评价技术工作。E-mail: zhouyan@boe.com.cn