

文章编号:1007-2780(XXXX)XX-0001-07

动态背光控制对液晶响应时间的影响

蔡浩*, 张晓娥

(昆山龙腾光电股份有限公司 产品研发中心, 江苏 昆山 215300)

摘要: LCD屏幕在显示黑色画面时出现漏光,是一种常见的现象,主要由屏幕结构和背光系统特性搭配导致。而常见的、简单有效的改善方法为降低屏幕整体亮度,能显著减少漏光的可见度。本文系统研究了开启动态背光控制后液晶响应时间的变化规律,测量了黑白画面下 TCON 输出不同 PWM Duty 下的液晶响应时间数据。通过 TCON 中 DBC 功能来实现,即在显示黑画面的时候, TCON 输出的 PWM duty 为 PWM 输入的 40%;白画面输出 duty 为输入 PWM 的 100% 给到 LED Driver。此方式可改善黑画面漏光,但在 DC 调光应用下,结合 LED Driver 识别 PWM duty 再到输出 LED 电流的机制,会导致液晶响应时间的增加。光学仪器测试结果为 51.9 ms,严重超出设计规格 Max 25 ms。针对此问题,本文提出了在保持 LCD 屏幕最大亮度不变前提下,设定白画面输出 99.6% duty 的 PWM 后,实测液晶响应时间可缩短至 24.7 ms,即解决了黑画面漏光问题又能满足液晶响应时间规格。

关键词: LCD; LED; 动态背光控制; 液晶响应时间

中图分类号: TP394.1; TH691.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.37188/CJLCD.2026-0023 **CSTR:** 32172.14.CJLCD.2026-0023

The influence of dynamic backlight control on the liquid crystal response time

CAI Hao*, ZHANG Xiao-e

(R&D Center, Infovision Optoelectronics Co. Ltd., Kunshan, Jiangsu 215300, China)

Abstract: Leakage of light is a common phenomenon when a LCD (Liquid Crystal Display) screen displays a black pattern, mainly caused by the combination of the screen structure and the characteristics of the backlight system. A common and simple yet effective way to improve this issue is to reduce the overall screen brightness, which can significantly decrease the visibility of the leakage. This paper systematically studies the variation law of the liquid crystal response time after activating the dynamic backlight control, and measures the liquid crystal response time data under black and white pattern with different PWM (Pulse With Modulation) duties output by the TCON (Timing Controller). This is achieved through the DBC (Dynamic Backlight Control) function in the TCON, where the PWM duty output by the TCON is 40% of the input PWM when displaying a black pattern, and 100% of the input PWM when displaying a white pattern to the LED (Light Emitting Diode) driver. This method can improve the leakage of the black pattern, but in DC (Direct Current) dimming applications, combined with the mechanism of the LED driver identifying the PWM duty and then outputting the LED current, it will lead to an increase in the liquid crystal response time. The test result of the optical instrument is 51.9 ms, which seriously

收稿日期:2026-02-27;修订日期:2026-03-31.

*通信联系人, E-mail: caiminhaoyu@126.com

exceeds the design specification of Max 25 ms. To address this issue, this paper proposes setting the PWM duty for the white pattern output to 99.6% while maintaining the maximum brightness of the LCD screen unchanged. The measured liquid crystal response time can be shortened to 24.7ms, which not only solves the problem of black pattern leakage but also meets the liquid crystal response time specification.

Key words: LCD; LED; dynamic backlight control; liquid crystal response time

1 引言

LCD(Liquid Crystal Display,液晶显示器)是有源矩阵类型液晶显示器中的一种。它具有低功耗、高对比度、高响应速度、适用范围广、易于集成化等特点,目前已成为面板显示产业主流技术之一^[1]。然而,LCD存在一个通病就是黑画面下易出现漏光现象,这是因为LED(Light Emitting Diode,发光二极管)背光从屏幕后方发出,液晶分子负责控制光线通过。在边缘或受压区域,液晶分子无法100%完美地阻挡所有光线,导致部分背光从面板边缘或内部应力点泄漏。此外,屏幕组装时的轻微压力、边框变形或内部结构应力也会加剧漏光。漏光通常表现为屏幕边缘或四角落在全黑背景下出现微弱的光晕或亮斑,这在IPS(In-Plane Switching,面内转换)面板中尤为明显,严重干扰用户视觉体验。

常见的改善技术方案是通过 TCON(Timing Controller,时序控制器)中 DBC(Dynamic Backlight Control,动态背光控制)功能来实现,即在显示黑画面的时候,TCON 输出的 PWM(Pulse Width Modulation,脉冲宽度调制)duty 为 PWM 输入的 40%;白画面输出 duty 为输入 PWM 的 100% 给到 LED Driver^[2]。此方式可改善黑画面漏光,但在 DC(Direct Current,直流)调光应用下,会导致液晶响应时间的增加。在高速运动画面且伴随大幅亮度变化时,用户能感知到轻微的运动模糊,严重影响视觉体验。

2 动态背光控制

2.1 背光模块

LCD 不同于 Organic Light-Emitting Diode(OLED,有机发光二极管)的显示技术原理^[3],LCD 模组的设计必需搭配 Backlight Unit 来提供光源才能显示,如图 1 所示,其工作原理为:LED

Driver 驱动 Light Bar(灯条),点亮光源,其需要提供的主要信号包括 VIN(LED Driver 的输入电压)、PWM Signal(LED Driver 的调光信号)、Chip Enable(LED Driver 的使能信号)等。对 PWM 的定义,还包括其 Dimming Frequency(调光频率)及 Duty(占空比),调节 Duty 可对光的强弱进行控制^[4]。正常笔记本电脑所用 LCD 屏幕 PWM 输入频率范围为 200 Hz~2K Hz,本文研究的 PWM 频率为 TCON 输出的 500 Hz。

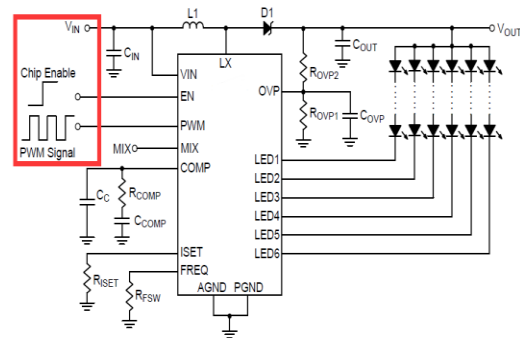


图 1 背光模块原理图

Fig. 1 Schematic of backlight module

然而,背光模块的调光方式有多种模式,如图 2 所示,主要有 PWM 调光和 DC 调光两种。PWM 调光通过快速开关 LED,即周期性地“亮-灭-亮-灭”改变“亮”的时间占整个周期的比例(即占空比)亮调节平均亮度。占空比越高,亮度越亮。但这种方式若调光频率过低,人眼可能感知到频闪,引起视觉疲劳。DC 调光通过直接改变流过 LED 的恒定电流大小来调节亮度。电流越大,亮度越高。这种方式无频闪,视觉体验更舒适,且能有效降低电磁干扰和音频噪声^[5]。

PWM 调光信号是控制亮度的“指令”,而 PWM 调光模式是执行该指令的“策略”。简单来说,信号指的是具体的脉冲波形(频率和占空比),模式则是 LED 驱动芯片根据需求选择的工作方式。两者相辅相成,信号是基础,模式是应

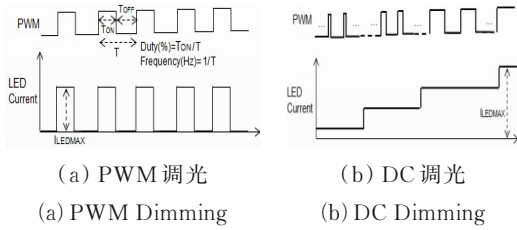


图2 PWM调光和DC调光两种模式

Fig. 2 Two modes of PWM Dimming and DC Dimming

用层面的优化方案。PWM调光胜在高精度与无色偏,是专业显示和高效驱动的首选;而DC调光赢在无频闪与低噪声,更适合对电磁干扰敏感或需要平滑过渡的场景。两者没有绝对的优劣,只有适用场景的不同,本文所研究的调光模式为DC。图3为IPS面板在DC模式下开启动态背光控制黑画面漏光现象前后对比图。

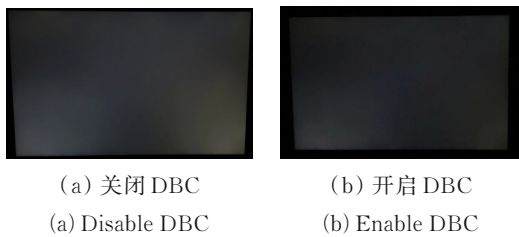


图3 关闭和开启DBC黑画面漏光现象

Fig. 3 Leakage phenomenon of disable and enable DBC

2.2 动态背光控制原理

PWM输入信号会接入TCON,经由TCON处理后再产生PWM输出信号给到LED Driver。DBC是根据画面显示的当前内容而进行背光控制,比如说当前显示的为黑画面,则通过TCON输出低占空比的PWM信号至LED Driver,从而降低背光亮度;当显示白画面时,输出高占空比的PWM信号给LED Driver,从而提高背光亮度^[6]。具体实现功能示意如图4所示。

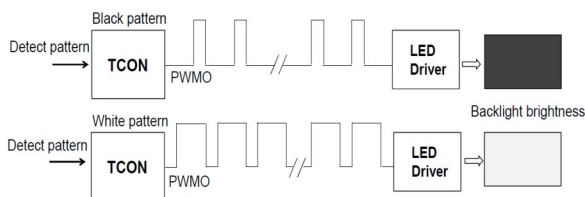


图4 DBC功能示意图

Fig. 4 Diagram of DBC function

3 液晶响应时间

3.1 液晶响应时间特性

如图5所示,液晶响应时间是指液晶分子从初始状态转变为稳定状态所需的时间,其核心参数包括:上升时间TR(Rise Time)和下降时间TF(Fall Time)。TR为液晶分子从10%透光率上升至90%透光率所需时间;TF为液晶分子从90%透光率下降至10%透光率所需时间,液晶响应时间为两者之和,反映液晶动态响应能力,即液晶响应时间RT(Response Time)=TR+TF,单位为毫秒(ms)^[7]。

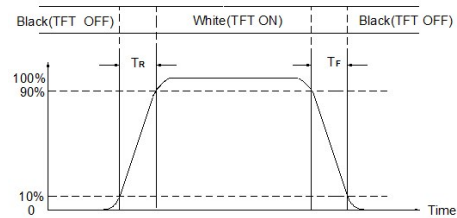


图5 液晶响应时间定义示意图

Fig. 5 Diagram of liquid crystal response time definition

在传统静态背光模式下,液晶响应时间主要受液晶材料粘度、弹性常数和驱动电压影响^[8-9]。而引入动态背光控制后,背光亮度的实时变化与液晶分子转向过程形成复杂的光-电耦合系统,显著改变了响应时间的表现特征^[10-12]。

3.2 液晶响应时间测试

为准确研究动态背光控制对液晶响应时间的影响,搭建了以16-inch IPS液晶显示屏为测试对象系统,其分辨率为1920×1200,刷新率为60 Hz。如图6所示,使用光学测量仪器DMS1140进行液晶响应时间测量,测试环境控制在标准实验室条件(环境温度25±1℃,环境亮度<1 lux)。

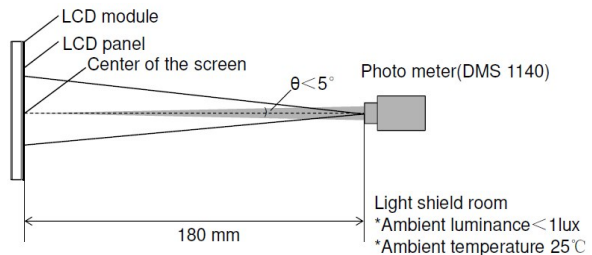


图6 DMS 1140量测光学示意图

Fig. 6 Diagram of measuring optics by DMS 1140

测试结果表明,当黑画面 PWM duty 为 40%;白画面 PWM duty 为 100% 时,液晶响应时

间 $RT=41.1(TR)+10.8(TF)=51.9\text{ ms}$,如图 7 所示,主要因 TR 过大影响。

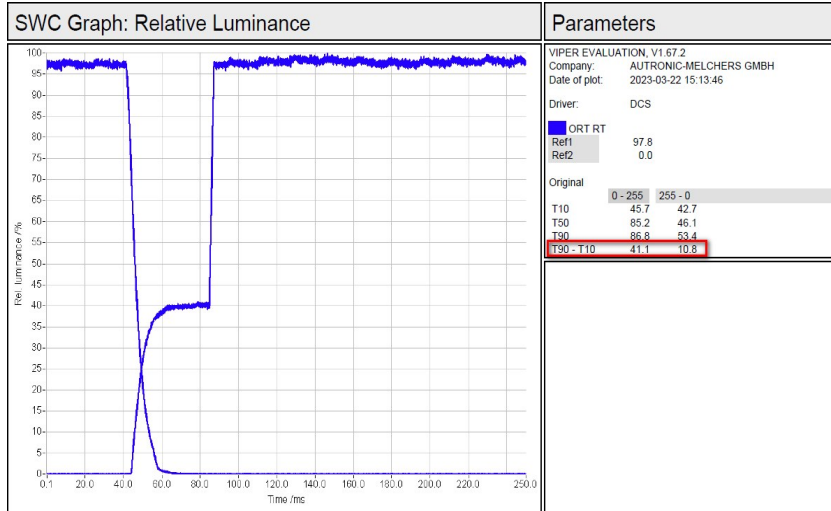


图 7 DMS 1140 量测白画面 PWM duty 100% 时液晶响应时间结果

Fig. 7 The result of liquid crystal response time under white pattern with 100% PWM duty by DMS 1140

4 液晶响应时间耦合机制

正常情况下,未开启动态背光控制时液晶响应时间一般为 22 ms 左右,为何开启动态背光控制后液晶响应时间增加 136% 之多,具体对比数据见表 1。进一步地,使用示波器及光电探测器(利用光伏效应将光功率转换为电流)测试相关波形深入分析。如图 8 所示,图中①为 Source 波形、②为光电探测器波形、③为 PWM 波形、④为 ILED 波形。对照波形发现,图中 A 段为黑画面切换白画面,源极驱动器的驱动电压已开始动作,但液晶还未开始偏转,此部分时间并不影响液晶响应时间;B 段为液晶开始偏转到 PWM duty 变化的时间;C 段为 PWM duty 由 40% 到 100% 变化再到 ILED 背光电流变化,B 段+C 段时间即为 TR,等于 42.4ms。

表 1 关闭和开启 DBC 液晶响应时间对比

Tab.1 Comparison of liquid crystal response time with disable and enable DBC

Response Time/ms	Disable DBC	Enable DBC
TR: 0-255(10%-90%)	11	41.1
TF: 255-0(90%-10%)	11	10.8
TR + TF	22	51.9

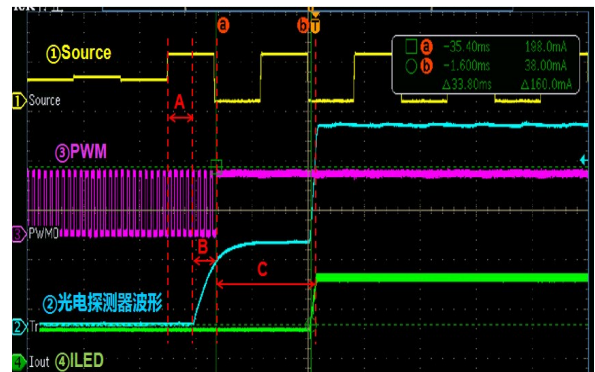


图 8 示波器及光电探测器测试 PWM duty 100% 的波形
Fig.8 Waveform of 100% PWM duty with using an oscilloscope and a photoelectric detector

从图中可以看出,C 段占据了大部分时间,此为导致液晶响应时间过大的主要原因。为何 PWM duty 变化到 ILED 变化这么缓慢,查看对应 LED Driver 芯片的工作机制发现连续 16.7 ms (一帧时间, $1/60\text{ Hz}=16.7\text{ ms}$) 高电平判断为 100% duty。且在 DC 调光下,如图 9 所示,会先采集 PWM 一个周期的数据,再用一个周期进行计算,直到第三个周期才会输出对应的 ILED 电流。故 100% duty 时需要两帧时间才能切换 ILED,即 33.4 ms。

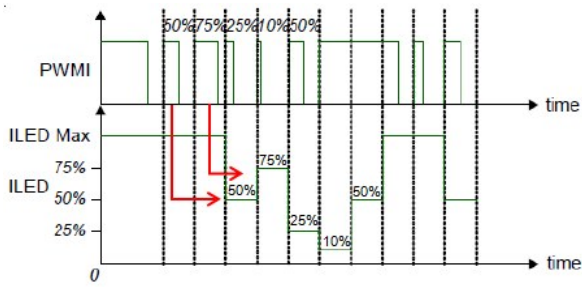


图 9 DC调光机制

Fig. 9 Mechanism of DC Dimming

5 实验与结果

5.1 实验方法

上文分析到 LED Driver 芯片需侦测连续 16.7 ms 的高电平才会判定为 100% duty,而非 100% duty 间的切换就可以省略这部分时间。故而尝试更改 TCON 侦测白画面输出 PWM duty 的设定,由初始的 100% duty,修改 code 参数将其改为 99.6% duty,使用示波器及光电探测器对照 100% duty 设定时的相关波形,进行对比分析。

5.2 实验结果

如图 10 所示,图中①为 PWM 波形、②为 Source 波形、③为 ILED 波形、④为光电探测器波形。对照波形发现,图中 A 段为黑画面切换白画面,源极驱动器的驱动电压已开始动作,但液晶

还未开始偏转,此部分并不影响液晶响应时间;B 段为液晶开始偏转到 PWM duty 变化的时间;C 段为 PWM duty 由 40% 到 99.6% 变化再到 ILED 背光电流变化。A 段+B 段时间为一帧时间,这是因为 TCON 在侦测到画面由黑切换到白后需一帧时间去输出对应的 PWM,B 段+C 段时间即为 TR,等于 14.2 ms。

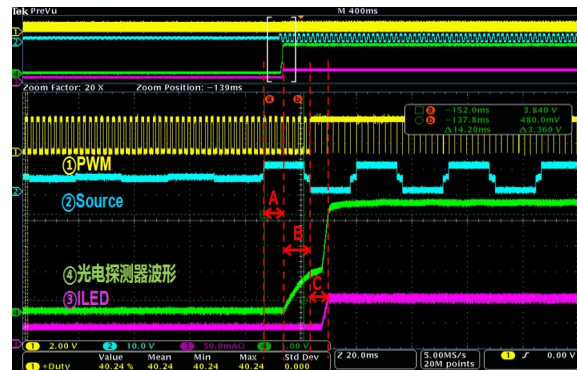


图 10 示波器及光电探测器测试 PWM duty 99.6% 的波形
Fig. 10 Waveform of 99.6% PWM duty with using an oscilloscope and a photoelectric detector

再通过光学测量仪器 DMS 1140 进行验证,测试结果表明,当黑画面 PWM duty 为 40%;白画面 PWM duty 为 99.6% 时,液晶响应时间 $RT = 14.4 (TR) + 10.3 (TF) = 24.7 \text{ ms}$,如图 11 所示,液晶响应时间得到明显改善。同步确认白画面下亮度,基本保持一致,符合要求,见表 2。

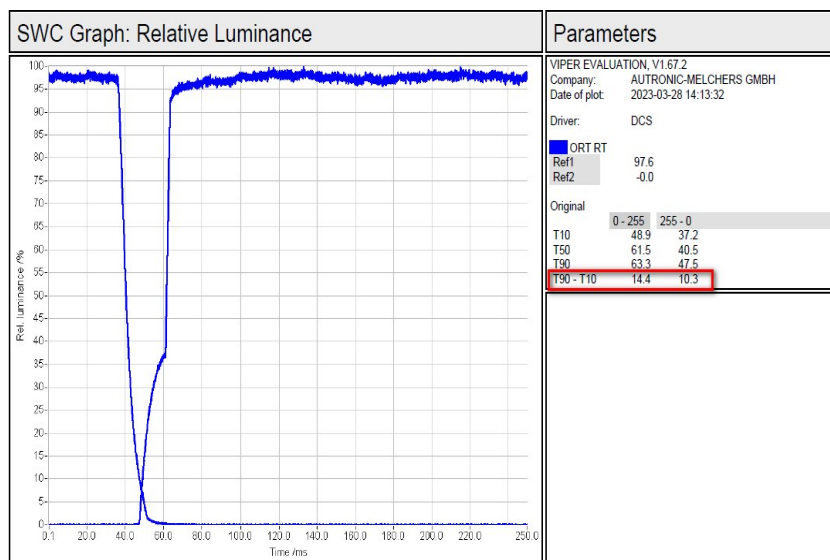


图 11 DMS 1140 量测白画面 PWM duty 99.6% 时液晶响应时间结果

Fig. 11 The result of liquid crystal response time under white pattern with 99.6% PWM duty by DMS 1140

表2 白画面下不同PWM duty的亮度

Tab.2 Brightness under white pattern with different PWM duty

Dimming Frequency/ Hz	PWM Duty/ %	Luminance/ nits
500 Hz	100	365.3
	99.6	363.8

6 结 论

本文系统研究了动态背光控制对液晶响应

时间的影响机制,通过实验量化了响应延迟的程度和特征。研究表明,开启动态背光会导致液晶响应时间增加136%,这种影响在高速运动画面下且伴随大幅亮度变化更为明显。

针对这一问题,本文提出的白画面下原本由TCON输出100% duty的PWM而设置为输出99.6% duty的优化方案,可有效将液晶响应时间降低至可接受范围。这些发现为后续解决黑画面漏光而开启动态背光控制的液晶显示器设计与优化提供了重要参考。

参 考 文 献:

- [1] 蔡浩,陈超平,卢佳惠,等. 液晶显示屏与电容式触摸屏间的信号串扰抑制[J]. 液晶与显示, 2018, 33(6): 504-510.
CAI H, CHEN C-P, LU J-H, *et al.* Reduction of crosstalk between TFT-LCD and capacitive touch panel [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(6): 504 - 510. (in Chinese)
- [2] 蔡浩. 区域可调背光的LED驱动技术[D]. 上海交通大学, 2018.
CAI H. Driving scheme of light-emitting diode for local dimming backlight [D]. Shanghai Jiao Tong University, 2018. (in Chinese)
- [3] 周雷,刘嘉杰,徐苗,等. 有源矩阵有机发光二极管显示驱动架构的演变[J]. 液晶与显示, 2025, 40(11): 1636-1646.
ZHOU L, LIU J-J, XU M, *et al.* The evolution of active-matrix organic light-emitting diode display driving architectures [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2025, 40(11): 1636 - 1646. (in Chinese)
- [4] 蔡浩,陈超平,陈捷,等. 广窄视角可切换型TFT-LCD的莫尔条纹抑制[J]. 液晶与显示, 2021, 36(03): 432-438.
CAI H, CHEN C-P, CHEN J, *et al.* Suppression of moiré pattern for wide/narrow viewing angle switchable TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(03): 432 - 438. (in Chinese)
- [5] 向艳,冯奇斌,吕国强. 侧出LED背光动态调光算法研究[J]. 液晶与显示, 2014, 29(02): 293-297.
Xiang Y, FENG Q-B, LV G-Q, . Dynamic dimming algorithm in side-lit LED backlights [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(02): 293 - 297. (in Chinese)
- [6] 朱标. 大尺寸机载显示模块动态背光控制系统设计[J]. 光电技术应用, 2024, 39(02): 51-55+76.
ZHU B. Design of Dynamic Backlight Control System for Large-Sized Airborne Display Module [J]. *Application of photoelectric technology*, 2024, 39(02): 51 - 55+76. (in Chinese)
- [7] 马群刚. TFT-LCD原理与设计[M]. 电子工业出版社, 2011
MA Q G. The principle and design of TFT-LCD [M]. Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [8] Wang, D., Li, YL., Chu, F.
et al. Color liquid crystal grating based color holographic 3D display system with large viewing angle. *Light Sci Appl* 13, 16 (2024).
- [9] Xiong, J., Wu, ST. Planar liquid crystal polarization optics for augmented reality and virtual reality: from fundamentals to applications. *eLight* 1, 3 (2021).
- [10] 刘红均,邱成峰,刘召军. 基于VA液晶的激光扫描器件及响应速度调制[J]. 液晶与显示, 2023, 38(09): 1178-1184.
LIU H-J, QIU C-F, LIU Z-J. Laser scanning device and response speed modulation based on VA liquid crystal [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2023, 38(09): 1178 - 1184. (in Chinese)

- [11] 王凯宇,白龙飞,谢丽娟,等. 负性液晶材料光电参数对聚合物稳定液晶器件响应特性的影响[J]. 液晶与显示, 2022, 37(08): 1095-1103.
WANG K-Y, BAI L-F, XIE L-J, *et al.* Effect of photoelectric parameters of negative liquid crystal on photoelectric characteristics of polymer stabilized liquid crystal devices [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2022, 37(08): 1095 - 1103. (in Chinese)
- [12] 付明珠,郭玉强,任亚璇,等. 快速响应的共面转换型液晶显示器[J]. 液晶与显示, 2017, 32(09): 685-691.
FU M-Z, GUO Y-Q, REN Y-X, *et al.* Fast-response in-plane switching liquid crystal display [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(09): 685-691. (in Chinese)

作者简介:



蔡 浩,男,硕士,2018年于上海交通大学获得硕士学位,主要研究方向为 TFT-LCD 面板驱动设计。
E-mail:caiminhaoyu@126.com