

基于无源逆变器的全模拟液晶驱动电路设计

张其远, 穆继亮, 韩晓涛, 李正阳, 丑修建

引用本文:

张其远, 穆继亮, 韩晓涛, 等. 基于无源逆变器的全模拟液晶驱动电路设计[J]. 液晶与显示, 2021, 36(2): 272–278.

ZHANG Qi-yuan, MU Ji-liang, HAN Xiao-tao, et al. Design of fully analog liquid crystal drive circuit based on passive inverter[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(2): 272–278.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0220>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

固态体积式真三维立体显示器显示体驱动电路设计

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

液晶与显示. 2015(2): 263–268 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153002.0263>

温度系数连续可调的带隙基准源电路设计

Design of bandgap reference circuit with continuously adjustable temperature coefficient

液晶与显示. 2018, 33(5): 412–418 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183305.0412>

基于FPGA的TFT液晶显示时序控制器设计

FPGA-based TFT LCD timing controller design

液晶与显示. 2015, 30(4): 647–654 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153004.0647>

快速响应模式电极pi-cell液晶透镜的研究

Fast response modal electrode pi-cell liquid crystal lens

液晶与显示. 2019, 34(8): 739–747 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193408.0739>

一种新型a-IGZO TFT集成栅极驱动电路设计

Novel integrated gate driver design based on a-IGZO TFTs

液晶与显示. 2018, 33(12): 996–1001 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183312.0996>

文章编号:1007-2780(2021)02-0272-07

基于无源逆变器的全模拟液晶驱动电路设计

张其远, 穆继亮, 韩晓涛, 李正阳, 丑修建*

(中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要:本文提出了一种设计简单、体积小的液晶驱动电路。该电路包含 RC 施密特振荡电路和反相器,通过特定的连接方式,实现了在一定电压范围内仅用直流信号即可驱动液晶器件的功能。通过理论分析和实验测试,讨论了元件取值对该电路输出频率和波形特性的影响。测试结果表明,该逆变电路响应速度低于 $0.4\ \mu\text{s}$ 。当输入电压为 3 V 以下时,功耗低于 1 mW,且输入输出电压具有良好线性关系,可实现对液晶器件透过率的精确控制。本研究为微型化智能可穿戴设备的液晶器件驱动提供了新的技术思路。

关键词:逆变器;液晶;驱动电路;无源

中图分类号:TN27;TN702 文献标识码:A doi:10.37188/CJLCD.2020-0220

Design of fully analog liquid crystal drive circuit based on passive inverter

ZHANG Qi-yuan, MU Ji-liang, HAN Xiao-tao, LI Zheng-yang, CHOU Xiu-jian*

(Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement of Ministry of Education,
North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: A simple design and small size liquid crystal drive circuit is proposed in this paper. The circuit includes an RC Schmitt oscillation circuit and an inverter. Through a specific connection method, the function of driving a liquid crystal device using only a DC signal within a certain voltage range is realized. Through theoretical analysis and experimental test, the influence of component values on the output waveform characteristics of the circuit is discussed. The test results show that the inverter circuit has a response speed of less than $0.4\ \mu\text{s}$. The power consumption is less than 1 mW when the input voltage is below 3 V. The input and output voltage have a good linear relationship, which can realize precise control of the transmittance of the liquid crystal device. This research provides new technical ideas for driving liquid crystal devices in miniaturized smart wearable devices.

Key words: inverter; liquid crystal; drive circuit; passive

收稿日期:2020-09-01;修订日期:2020-09-16.

基金项目:山西省自然科学基金(No. 201901D111146)

Supported by Natural Science Foundation of Shanxi Province(No. 201901D111146)

* 通信联系人, E-mail: chouxijian@nuc.edu.cn

1 引言

液晶是一种介于液体和晶体之间、由不完全周期性排列的长棒状或扁平状分子组成的中间物质^[1-2],具有独特的取向有序流动性和光学各向异性^[3]等特点。对其施加电场调控,可改变入射光的偏振状态或方向。经过液晶的不断研究以及半导体集成电路技术的不断发展,液晶在显示、光阀器件领域有着广泛的应用。近年来,随着便携式智能可穿戴设备兴起,越来越多新型器件集成了液晶盒、液晶膜^[4-5]等液晶器件,如焊工面罩、护目镜等。面向电子产品轻量化、简约化的应用需求,人们对液晶驱动电路的尺寸、成本、功能提出了更高要求。

现有液晶驱动电路多是针对不同分辨率基于晶体管原理的 TFT-LCD 屏幕设计的专用集成电路^[6],设计复杂且成本高。针对单纯的液晶盒或液晶膜的最常见的驱动方法为使用单片机(MCU)和 H 桥进行驱动。中国科学院光束控制重点实验室研究团队通过现场可编程门阵列(FPGA)输出特定的脉冲宽度调制(PWM)信号大幅提高了液晶的响应速度^[7];国立交通大学研究团队使用全数字电路实现液晶电路的驱动,降低了功耗,其中交流信号通过生成 PWM 信号和使用电平转换单元生成^[8]。但上述驱动方法的电路设计成本高、体积大,且需要编写和烧录程序,难以适应缺少固定电压供电或者微型化的产品应用要求。

针对上述问题,本文提出一种基于 RC 施密特振荡电路和反相器的液晶驱动电路设计方案。该设计可在无额外供电的条件下,将输入的直流信号转换为相应电压的交流信号。由于设计简单,采用常见的电子元件和芯片大幅降低了电路的成本和体积,更加适合在微型化智能可穿戴设备上应用。

2 驱动电路硬件设计

基于无源逆变器设计的液晶驱动电路如图 1 所示,对外有 4 个接口,其中包括一个直流信号输入接口、地线接口和两个接口组成的交流信号输出端。电路由两部分组成,分别为施密特振荡电

路和反相器,前者用于生成一定频率的直流方波信号,后者的输入端和输出端可以形成一个正负交替变换的电压差,从而使得驱动电路可以输出一个交流方波信号。RC 施密特振荡电路的电源和输入端与直流信号相连;反相器的输入端与施密特振荡电路的输出端相连,电源和直流信号相连;反相器的输入端和输出端分别与液晶器件的两个电极相连。

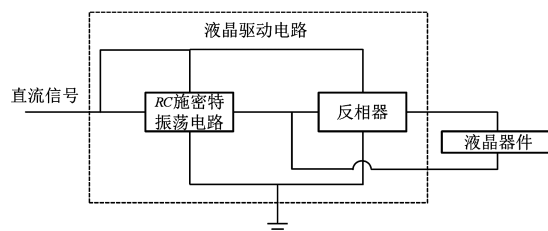


图 1 电路结构图

Fig.1 Diagram of the circuit structure

基于驱动电路微型化的要求,本设计采用施密特触发器、电容和电阻组成 RC 施密特振荡电路,反相器同样使用施密特触发器实现反相功能。因此驱动电路仅用一片 SN74LVC2G14DBVR 双施密特触发器、一个电阻和一个电容即可实现将直流电转换为交流电的功能,该驱动电路原理图如图 2 所示。最终将驱动电路集成于尺寸仅为 1.05 cm × 0.7 cm 的 PCB 板上,实物样机如图 3 所示。

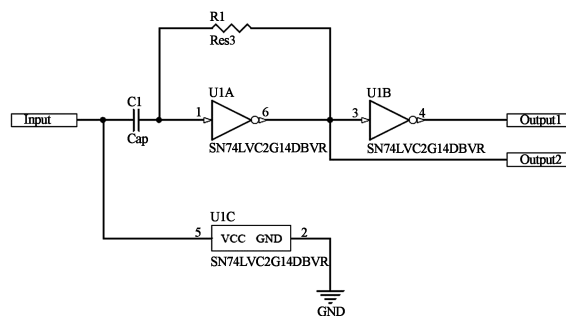


图 2 电路原理图

Fig.2 Diagram of the circuit principle

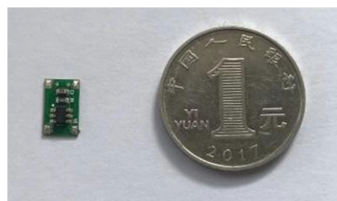


图 3 电路实物图

Fig.3 Diagram of the circuit object

3 驱动方法分析

3.1 驱动原理分析

由于液晶配向膜而产生的“直流阻绝”效应和液晶未完全钝化而产生的“直流残留”现象,液晶需要用“极性反转”的方式来驱动^[9-10]。考虑到人眼和液晶的反应时间,常用一定频率的交流方波信号来驱动。因此如何产生一个交流方波信号是液晶器件驱动电路的设计关键。采用 RC 施密特振荡器和反相器组成的逆变电路,其核心为 SN74LVC2G14DBVR 双施密特触发器,其电气参数如表 1 所示。

表 1 SN74LVC2G14DBVR 电气参数

Tab.1 SN74LVC2G14DBVR electrical parameters

符号	参数	最小值	最大值	单位
V_{CC}	电源电压	-0.5	6.5	V
V_I	引脚输入电压	-0.5	6.5	V
V_O	引脚输出电压	-0.5	6.5	V
I_O	引脚输出电流		± 50	mA

除聚合物分散液晶器件外,大部分液晶器件的驱动电压范围为 0~5 V^[11-13]。SN74LVC2G14DBVR 双施密特触发器的工作电压范围满足驱动液晶器件的要求,并且可以提供 50 mA 的驱动电流。由于芯片电源连接至直流信号输入端,根据其电气参数可知驱动电路输出交流方波的峰值由输入的直流信号决定,交流方波的频率取决于电阻、电容的取值以及输入直流信号的电压。其驱动原理为电容根据施密特触发器的特性不断充电放电,使施密特触发器 U1A 不断输出由输入直流信号电压决定的直流方波。再根据反相器的

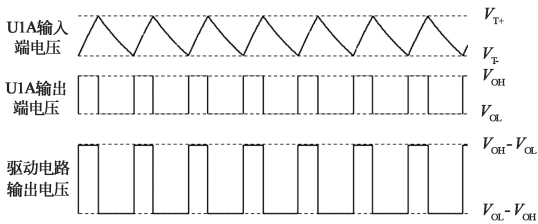


图 4 驱动电路工作各点电压示意图

Fig.4 Schematic diagram of the voltage at each point of the driving circuit

特性可知 U1B 输入输出端之间的高低信号始终相反,因此驱动电路可输出交流方波。驱动电路工作时各点的电压示意图如图 4 所示。

3.2 输出信号特性

输出交流方波的特性主要由电容两端电压变化和施密特触发器特性决定。电容的充放电公式为:

$$V(t) = V_0 + (V_1 - V_0) \times (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

当 U1A 输入端电压为 V_{T-} , 输出端电压为 V_{OH} 时, 电容 C_1 通过电阻 R_1 充电至 V_{T+} , 所需时间为 t_H 。当 U1A 输入端电压为 V_{T+} , 输出端电压为 V_{OL} 时, 电容 C_1 通过电阻 R_1 放电至 V_{T-} , 所需时间为 t_L 。带入式(1)分别可得到:

$$t_H = RC \times \ln \frac{V_{OH} - V_{T-}}{V_{OH} - V_{T+}} \quad (2)$$

$$t_L = RC \times \ln \frac{V_{OL} - V_{T+}}{V_{OL} - V_{T-}} \quad (3)$$

由式(4)和式(5)可计算出占空比和频率:

$$D = \frac{t_H}{t_L + t_H} \quad (4)$$

$$f = \frac{1}{t_L + t_H} \quad (5)$$

理想状态下 V_{OL} 为 0 V, V_{OH} 为 V_{CC} , 频率计算可简化为式(6), 用于该电路 RC 取值的估算。

$$f = \frac{1}{RC \times \ln \frac{(V_{CC} - V_{T-}) V_{T+}}{(V_{CC} - V_{T+}) V_{T-}}} \quad (6)$$

实际电路 V_{CC} 不是固定值, 根据芯片电气特性可知 V_{OH} 、 V_{OL} 、 V_{T+} 、 V_{T-} 的值不是固定值, 且芯片存在寄生电容, 因此需要针对不同 RC 取值对液

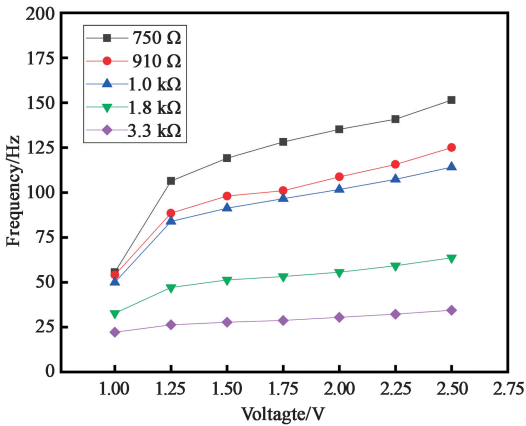


图 5 $C=10 \mu F$, 不同 R 取值下频率-电压关系图。

Fig.5 $C=10 \mu F$, frequency-voltage relationship diagram under different R values.

晶驱动电路的频率、波形、响应速度以及输出电压进行测量与分析。

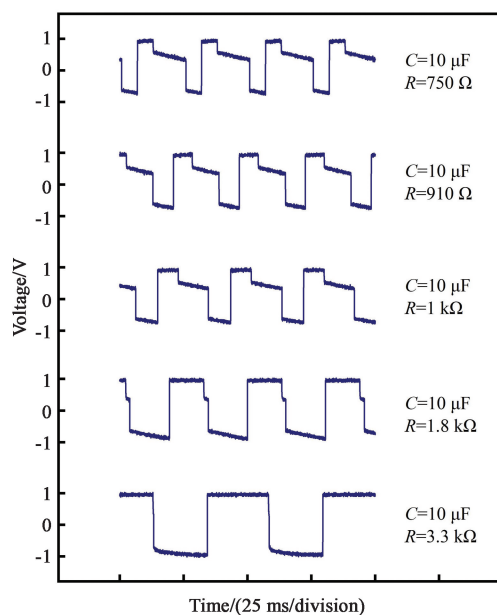


图6 $C=10\ \mu\text{F}$, 输入电压 1 V, 不同 R 取值下输出波形图。

Fig.6 $C=10\ \mu\text{F}$, input voltage is 1 V, output waveform diagram under different R values.

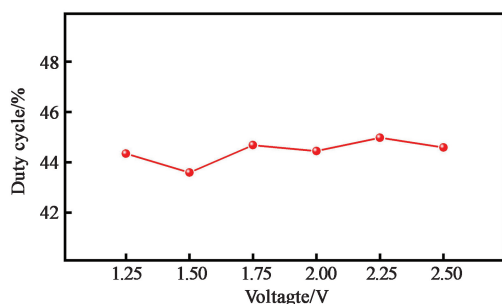


图7 $C=10\ \mu\text{F}$, $R=1.8\ \text{k}\Omega$, 不同输入电压下的输出波形占空比。

Fig.7 $C=10\ \mu\text{F}$, $R=1.8\ \text{k}\Omega$, duty cycle of output waveform under different input voltage.

图5为电容 $C=10\ \mu\text{F}$, 电阻 R 不同时, 波形频率随输入电压的变化关系曲线。测量结果表明, 随着 R 值的增大, 波形频率减小, 与式(6)理论计算相符。同时随着输入电压的提高, 波形频率也逐渐提高。由于 SN74LVC2G14DBVR 的建议工作电压为 1.65 V, 因此在低输入电压时频率变化幅度较大, 且波形不为方波, 图6为 1 V 输入电压时的输出波形。实际测量这 5 种 RC 取值在 1.1 V 以上输入电压可输出方波信号, 取 C 为 10

μF , R 取 $1.8\ \text{k}\Omega$, 其占空比如图7所示, 方波波形在不同输入电压下较为稳定, 与理论计算相符, 1.5 V 输入电压时输出波形如图8所示。

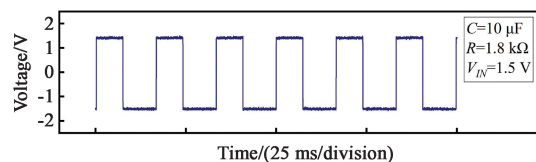


图8 $C=10\ \mu\text{F}$, $R=1.8\ \text{k}\Omega$, 输入电压 1.5 V 的输出波形。

Fig.8 $C=10\ \mu\text{F}$, $R=1.8\ \text{k}\Omega$, output waveform with input voltage of 1.5 V.

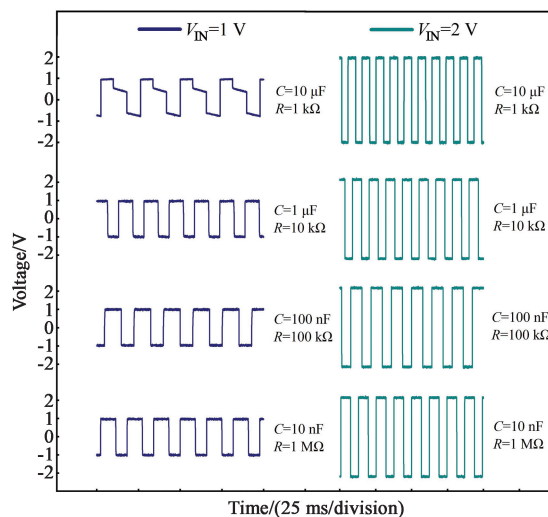


图9 R 、 C 乘积为固定值, 不同参数下的输出波形图。

Fig.9 R , C product is a fixed value, the output waveform diagrams of the various parameters.

在满足 R 、 C 乘积为固定值, R 、 C 取不同值驱动电路在 1 V 和 2 V 的输出波形如图9所示。在低输入电压时 R 越大, 波形越趋近与方波。由于芯片本身存在寄生电容, 即使外部 R 、 C 乘积相同, 输出方波的频率依然不同, 但高输入电压时的波形和占空比没有较大差别。

液晶器件的响应速度主要由液晶材料响应速度和驱动电路响应速度决定, 为测试该驱动电路的响应速度, 调节输入电压并用 2.5 MSa/s 采样率测量输入输出信号波形, 测量结果如图10所示。对原始数据进行分析发现, 在该采样率下输出信号没有延迟, 即驱动电路的响应速度小于 0.4

μs , 远远低于液晶材料本身毫秒级的响应速度^[14]。相较于使用数字电路的驱动方式^[15], 该驱动电路没有使用同步时钟信号以及 A/D、D/A 转换, 因此提升了响应速率。

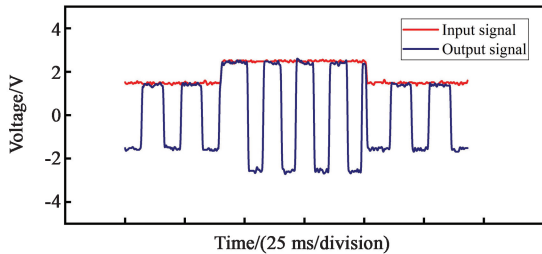


图 10 驱动电路响应速度测试

Fig.10 Drive circuit response speed test

在某些典型应用场合还需明确驱动电路的输入输出电压关系。由图 9 可知, 不同 R 、 C 取值在相同的输入电压下, 输出的交流信号的电压峰值没有明显变化, 因此在 R 取 $1.8\text{ k}\Omega$, C 取 $10\text{ }\mu\text{F}$ 的条件下测量输入-输出电压关系, 测量结果如图 11 所示。根据测量结果可知, 输入电压与输出电压峰值呈现出良好的线性关系, 易于对后端液晶器件的控制。

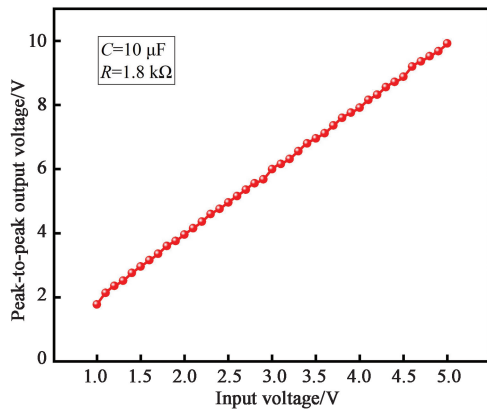


图 11 输入-输出电压关系

Fig.11 Input and output voltage relationship

3.3 驱动电路功耗

功耗是可穿戴设备的重要指标。在输入端施加不同的直流信号, 在输出端开路的条件下, 测量输入电流大小可计算出电路功耗, 测量计算结果如图 12 所示。输入电压 3 V 以下时电路功耗小于 1 mW , 5 V 时电路功耗为 64 mW 。因此, 在驱动低饱和电压液晶器件时电路本身功耗极低; 而驱动液晶器件时, 应在满足使用要求的前提下尽

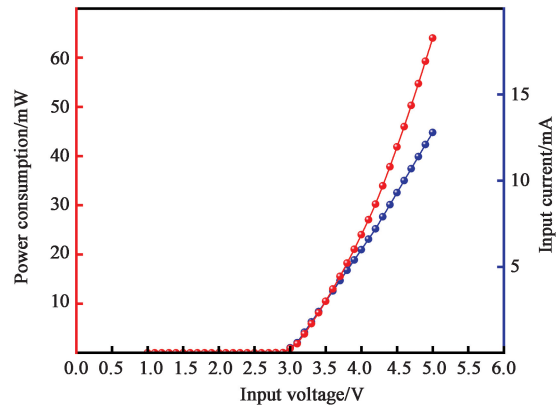


图 12 输入电压与电路功耗关系

Fig. 12 Relationship between input voltage and circuit power consumption

量降低输入电压以降低电路功耗。

3.4 驱动效果验证

为验证驱动电路驱动液晶效果, 本文选用一款液晶太阳镜上的液晶镜片进行测试。该液晶镜片由镜片、液晶膜和偏光片组成, 在不施加电信号时其可见光透过率为 35.8% 。在 64 Hz 交流方波下测试条件下, 阈值电压为 1 V , 饱和电压为 1.65 V 。将液晶镜片与驱动电路的输出端相连, 取 C 为 $10\text{ }\mu\text{F}$, R 为 $1.8\text{ k}\Omega$, 对驱动电路施加直流信号, 对液晶镜片的透过率进行测量, 透过率-电压曲线如图 13 所示。可以看到输入阈值电压在 1 V 左右, 之后随着输入电压升高, 透过率逐渐降低且变化明显, 2 V 输入电压之后透过率变化逐渐趋于平缓, 输入电压达到 3.4 V 时已趋于饱和。测量表明该驱动电路可实现对液晶镜片透过率的控制。

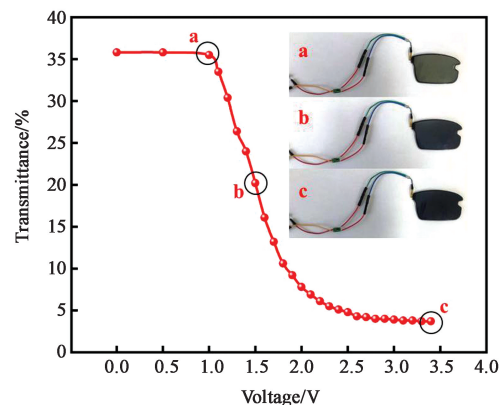


图 13 镜片透过率-输入电压关系图

Fig.13 Lens transmittance-input voltage relationship graph

4 结 论

本文设计了一种基于无源逆变器的全模拟液晶驱动电路,该驱动电路体积小、成本低、无需额外供电,只需要输入直流信号即可驱动液晶器件。通过对该驱动电路的理论分析和实际测量,结论

如下:(1)该电路在合适的参数条件下可产生一定频率的交流方波;(2)该电路具有相对稳定的占空比、极快的响应速度以及良好的输入输出电压线性关系;(3)电路自身功耗在低输入电压时极低。通过驱动液晶镜片验证了该设计可实现在无固定电压供电的条件下对液晶器件透过率的精准控制。

参 考 文 献:

- [1] BROWN G H, SHAW W G. The mesomorphic state - liquid crystals [J]. *Chemical Reviews*, 1957, 57(6): 1049-1157.
- [2] JAHNS J, WALKER S J. Two-dimensional array of diffractive microlenses fabricated by thin film deposition [J]. *Applied Optics*, 1990, 29(7): 931-936.
- [3] D'AURIA L, HUIGNARD J P, ROY A M, et al. Photolithographic fabrication of thin film lenses [J]. *Optics Communications*, 1972, 5(4): 232-235.
- [4] LIU W L, WANG H. Flexible oxide epitaxial thin films for wearable electronics: fabrication, physical properties, and applications [J]. *Journal of Materiomics*, 2020, 6(2): 385-396.
- [5] LUO Z Y, PENG F L, CHEN H W, et al. Fast-response liquid crystals for high image quality wearable displays [J]. *Optical Materials Express*, 2015, 5(3): 603-610.
- [6] 胡郁蓬,鲁广昊.有机半导体薄膜空间电荷分布对晶体管性能影响的研究进展[J].应用化学,2019,36(8):855-881.
HU Y P, LU G H. Research progress on the effect of space charge distribution of organic semiconductor thin films on transistor performance [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2019, 36(8): 855-881. (in Chinese)
- [7] 郭弘扬,杜升平,黄永梅,等.液晶空间光调制器过驱动方法的 FPGA 实现[J].红外与激光工程,2019,48(7):0722002.
GUO H Y, DU S P, HUANG Y M, et al. FPGA implementation of the overdriving method of liquid crystal spatial light modulator [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2019, 48(7): 0722002. (in Chinese)
- [8] TAI Y H, LIN C H, HO T H, et al. Fully digital driving circuit for TFT LCD using the concept of ramp-stop [J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2019, 66(3): 2074-2080.
- [9] 林鸿涛,郗玉生,胡海琛,等.TFT-LCD 中驱动信号对线残像的改善研究[J].液晶与显示,2012,27(3):359-363.
LIN H T, XI Y S, HU H C, et al. Improvement research of line image sticking by drive signal in TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(3): 359-363. (in Chinese)
- [10] 李永忠,纪伟丰,周炎宏.STN-LCD 残影显示的原理分析及实验研究[J].液晶与显示,2011,26(6):733-740.
LI Y Z, JI W F, ZHOU Y H. Research of image-retention phenomenon in STN-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(6): 733-740. (in Chinese)
- [11] ZHAN H M, XU Z, WANG Y P, et al. Low-voltage, high transmittance fringe-field switching mode liquid crystal for monitor display [J]. *Liquid Crystals*, 2014, 41(6): 755-760.
- [12] 唐先柱,钟德镇,简廷宪,等.低压驱动液晶透镜设计的研究[J].物理学报,2013,62(16):164212.
TANG X Z, CHUNG T C, JEN T H, et al. A design of liquid crystal lens with low voltage driving [J]. *Acta Physica Sinica*, 2013, 62(16): 164212. (in Chinese)
- [13] 王猛,王岩,韦德泉,等.松果状纳米氧化铁对液晶光电性能的影响[J].应用化学,2019,36(5):578-584.
WANG M, WANG Y, WEI D Q, et al. Influence of pinecone-like ferric oxide on the electro-optical properties of nematic liquid crystals [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2019, 36(5): 578-584. (in Chinese)
- [14] 肖奇,于涛,章波,等.快速响应模式电极 pi-cell 液晶透镜的研究[J].液晶与显示,2019,34(8):739-747.
XIAO Q, YU T, ZHANG B, et al. Fast response modal electrode pi-cell liquid crystal lens [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2019, 34(8): 739-747. (in Chinese)

- [15] 白陶艳,祝敏,陆耀东,等.基于 CPLD 的液晶驱动板的设计与实现[J].光子学报,2011,40(S1):64-67.
BAI T Y, ZHU M, LU Y D, *et al.* Design and implementation of LCD display driver board based on CPLD [J].
Acta Photonica Sinica, 2011, 40(S1): 64-67. (in Chinese)

作者简介:



张其远(1993—),男,山西太原人,硕士研究生,2016 年于陕西科技大学获得学士学位,主要从事电路与系统领域的研究。E-mail: 470210263@qq.com



丑修建(1979—),男,湖北咸宁人,博士,教授,2008 年于同济大学获得博士学位,主要从事智能微纳器件与系统领域的研究。E-mail: chouxijian@nuc.edu.cn