

文章编号:1007-2780(2013)04-0587-06

AMOLED 像素驱动电路参数设计

王宇¹, 田朝勇², 周刚²

(1. 中国民航飞行学院 航空工程学院, 四川 广汉 618307, E-mail: scuwangyu@163.com;

2. 四川虹视显示技术有限公司 产品研发部, 四川 成都 611731)

摘要: 像素驱动电路参数设计是 AMOLED 驱动设计的重点内容之一。文章以最基本的 2T1C 结构的像素驱动电路为例, 详尽地阐述了其参数设计的基本思路、流程、方法, 对于其他结构的像素驱动电路参数设计有重要的参考及借鉴意义。阐述了最基本的 2T1C 结构的像素驱动电路的工作原理, 并结合工程实践提出了其参数流程化设计方法, 最后通过 SmartSpice 仿真进行了验证。仿真结果表明, 文中提出的流程方法切实可行, 能快速确定像素驱动电路参数。

关键词: AMOLED; TFT; 2T1C; 仿真; SmartSpice

中图分类号: TN40 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132804.0587

AMOLED Pixel Driving Circuit Parameter Design

WANG Yu¹, TIAN Chao-yong², ZHOU Gang²

(1. Aviation Engineering Institute; Civil Aviation Flight University of China,

Guanghan 618307, China, E-mail: scuwangyu@163.com;

2. Product R&D Department, Sichuan CCO Display Technology CO., LTD., Chengdu 611731, China)

Abstract: The design of pixel driving circuit's parameter is one of the important contents of the AMOLED driver's design. In the paper, as an example with the basic structure of the 2T1C pixel driving circuit, the paper expounds the basic idea of the parameters design, process and method. It is an important reference design for the pixel driving circuit's parameter of other structure parameters. This paper describes the working principle on the basic structure of the 2T1C pixel driving circuit, then it puts forward the streamline design of the parameters with the engineering practice, finally the analysis is verified by SmartSpice simulation. The experiments of SmartSpice simulation indicated that the streamline design is feasible and it can quickly get the pixel driving circuit parameters.

Key words: AMOLED; TFT; 2T1C; simulation; SmartSpice

1 引言

由于 AMOLED 在响应速度、对比度、功耗、视角、超薄、全固体、柔性、透明显示等方面具有其他显示技术所不可及的优点, 被业界广泛认为是

继 LCD、PDP 之后的第三代显示技术, 又被称作“梦幻显示器”、“终极显示器”, AMOLED 显示技术也因此成为显示行业研究的热点技术^[1-3]。

AMOLED 像素驱动及补偿技术是 AMOLED 技术研究的重点之一。国内外关于像

收稿日期: 2012-11-30; 修订日期: 2013-01-15

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(No. 61271330)

作者简介: 王宇(1975—), 男, 浙江兰溪人, 博士, 讲师, 从事数字图像处理、DSP 应用研究、电视技术研究。

素驱动电路设计的文献层出不穷,但多数都处于电路原理设计及分析层面,具体到电路参数设计层次的文献很少且不够完整、全面。同时,AMOLED 像素驱动电路各参数设计之间也相互影响、相互制约,让人感觉无从下手。

本文在理论研究分析的基础上,结合工程实践,以最基本的 2T1C 结构的像素驱动电路为例,提出了一套流程化的参数设计方法。首先明确了进行像素驱动电路参数设计所需条件,然后提出了参数设计流程,接着依次设计了像素驱动电路的 V_{DD} 、M1 的 W/L 、M2 的 W/L 、 C_s 、 V_{scan} 、 V_{data} 等全部参数,最后通过仿真进行了验证。

2 像素电路参数设计前提条件

进行像素驱动电路参数设计的前提条件是已知面板相关技术规格、OLED 器件的 $J-V-L$ 特性曲线、TFT 及 OLED 的电学模型、像素驱动电路结构及原理。本文中 TFT 为 $4\ \mu\text{m}$ 工艺,其有源层厚度 t 为 25 nm、其介电常数 ϵ_s 为 3,绝缘层厚度 t 为 120 nm、其介电常数 ϵ_{ox} 为 3.9。目标面板与像素驱动电路参数设计相关的规格如表 1 所示。

表 1 标面板相关技术规格

Table 1 Specifications of target panel

Item	Specification	note
Resolution	1 024(RGB) \times 768	XGA
Frame Frequency	60 Hz	
Dot Pitch/ μm	192 \times 192	PPI=132
Color Arrangement	RGB strip	
Fill Factor/%	30	
Pixel Circuit	2T1C	
TFT TYPE	P-Type TFT	
Color Number	16 M color	
White Coordinate	0.29, 0.31	
Brightness	300 cd/m^2	With Pol.
NTSC color	$\geq 90\%$	

其中,偏光片光透过率为 50%,R、G、B 发光材料的色坐标分别为 (0.652, 0.347)、(0.306, 0.648)、(0.131, 0.165),采用指数为 2.2 的 GAMMA 曲线,采用 $4\ \mu\text{m}$ 的 TFT 工艺。本文后

续以红色子像素驱动电路的参数设计为例,对应的红光 OLED 器件(R 器件) $J-V-L$ 曲线如图 1 所示(蓝光及绿光 OLED 器件的 $J-V-L$ 曲线略)。

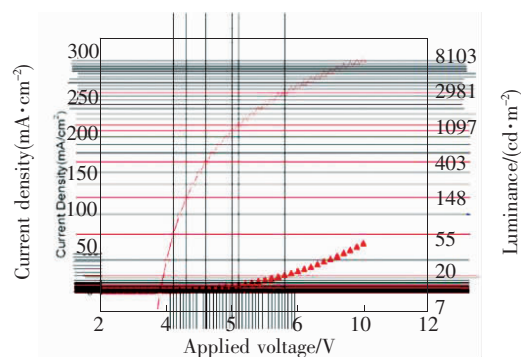


图 1 红光器件的 $J-V-L$ 曲线

Fig. 1 $J-V-L$ curve of red device

后续 SmartSpice 仿真中涉及到的 TFT 电学模型为^[4]:

```

LEVEL=36
TNOM=21  VERSION=2.0  TOX=1E-8
VTO=-8.5  VFB=-7.5    VON=0
DVT=0     VKINK=9     VSI=5.86
VST=3.7  MU1=9.103 03E-4  MU=2.181 027
MU0=44   MK=0.431 8  MUS=0.8 996 932
RD=0     RS=0       BT=1.412 538E-6
BLK=6.466 455E-9  DD=0.422 251E-8
DELTA=7.865 083
DG=1.426 645E-8  EB=0.436 9
ETA=14.8 000 619
I0=4.415 68  I00=0.009  ASAT=0.62
AT=1.4 584 893E-8  DASAT=0  LASAT=0
LKINK=2.95 784E-8  DVTO=0  DMU1=0
CAPMOD=0  CGSO=0  CGDO=0
ETAC00=0  LAMBDA=0.048
MC=7     RDX=0    RSX=0

```

OLED 电学模型^[5]为:

```

LEVEL=1, IS=2.3e-05, RS=0, N=45,
CJO=25 nm, AREA=10  $\mu\text{m}$ 

```

最基本的 2T1C 结构的像素驱动电路包含两个 TFT、一个存储电容和一个 OLED,全 P 沟道型 2T1C 结构的像素驱动电路如图 2 所示,这是一种电压驱动方式,输入信号是 V_{data} 。在图 2 中 M1 管为开关管,由栅极驱动信号 V_{scan} 控制,控制数据电压 V_{data} 的输入;M2 管为驱动管,控制

OLED 发光和灰度; C_s 为存储电容,用来储存信号电压。像素驱动电路的工作时段可以分为两个部分^[1-3]:

显示驱动时间。栅极驱动信号 V_{scan} 为低电平, M1 管开启, 此时 M1 工作在线性(非饱和区/变阻区)状态下, 数据信号经过 M1 管漏源通道给存储电容 C_s 充放电, 当 C_s 下端电压为 V_{data} 时电容停止充放电, 并将这个电压存储在电容 C_s 上。电容 C_s 随着数据信号的变化而充放电, 其两端电压的大小, 代表着数据信号的大小。该电压作用在 M2 管的栅极上, 使得 M2 工作在饱和(饱和区)状态下, 驱动 OLED 发光^[1-3]。

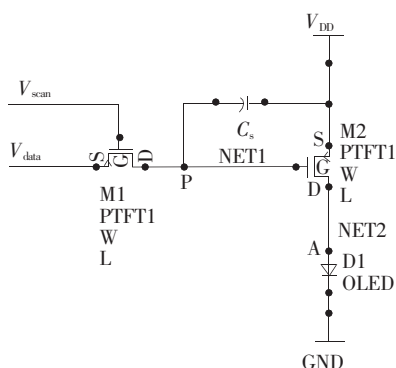


图 2 全 P 沟道两管 TFT 像素驱动电路图

Fig. 2 P channel two TFT pixel driving circuit diagram

显示维持时间。栅极驱动信号 V_{scan} 为高电平, M1 处于截止状态下, 漏源之间的通道被关断, 数据信号也就不能传到 M2 的栅极, 即电容的两端。此时, 电容 C_s 的一端处于开路状态而没有了泄放电荷的通路, C_s 两端电压不变, 使得 M2 仍处在饱和状态下, 继续维持 OLED 的发光, 亮度不变^[1-3]。

无论在显示驱动时间内, 还是在显示维持时间内, C_s 两端电压理论上维持不变, 也就是说 OLED 的发光在本帧周期一直保持不变, 该状态一直持续到下一帧该行像素被再次选通^[1-3]。

3 2T1C 像素电路参数设计流程

2T1C 像素电路虽然是最简单的像素驱动电路, 但还是涉及有 V_{DD} 、M1 的 W/L 、M2 的 W/L 、 C_s 、 V_{scan} 、 V_{data} 等众多参数, 非常复杂, 通过分析这些参数之间的相互关系推导出了如图 3 所示的参数设计流程。

3.1 OLED 驱动电流计算

首先计算 OLED 所需最大驱动电流。

(1) 计算不含偏光片的目标亮度

不含偏光片的目标亮度(cd/m^2) = 目标亮度(cd/m^2)/偏光片光透过率(%) = $300 (cd/m^2) / 50\% = 600 (cd/m^2)$

(2) 计算 R 器件的亮度贡献

目标白点色坐标为 (0.29, 0.33), R、G、B 的白点亮度贡献比为 R:G:B=0.88:1.95:1。

R 器件亮度贡献(cd/m^2) = 目标亮度(cd/m^2) × 亮度贡献百分比(%) = $600 (cd/m^2) × 22.98\% = 137.86 (cd/m^2)$

(3) 计算 R 器件的开口率

R 开口率(%) = 开口率(%) / 3 = $30\% / 3 = 10\%$

(4) 计算 R 器件的目标亮度

R 器件的目标亮度(cd/m^2) = R 亮度贡献(cd/m^2) / R 开口率(%) = $137.86 (cd/m^2) / 10\% = 1\ 378.6 (cd/m^2)$

(5) 确定 R 器件的电流密度

通过 R 器件的 $J-V-L$ 曲线查其电流密度。本设计中, R 器件的目标亮度为 $1\ 378.6 (cd/m^2)$,

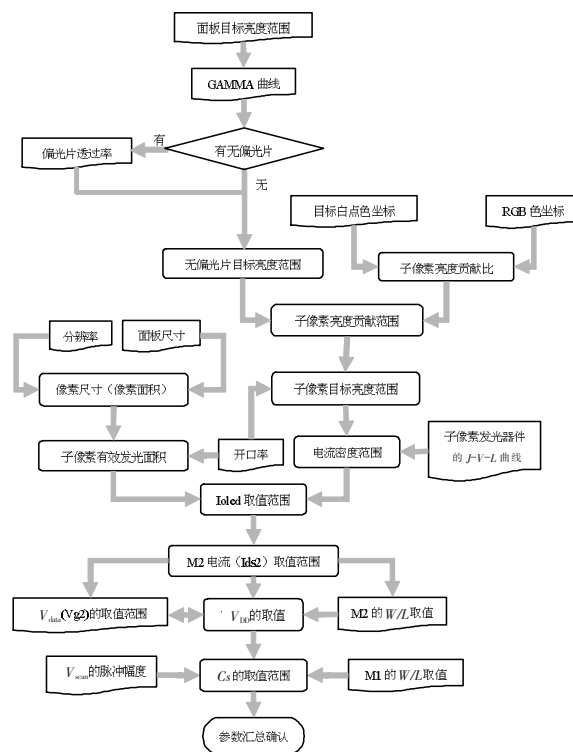


图 3 像素驱动电路参数设计流程

Fig. 3 Parameter design process of pixel driving circuit

从 R 器件的 J - V - L 曲线中可以查出其电流密度为 $12.11(\text{mA}/\text{cm}^2)$ 。

(6) 计算 R 器件的最大驱动电流要求

R 器件的最大驱动电流(μA)=R 器件的电流密度(mA/cm^2) \times R 器件的发光面积(cm^2)= $12.11 \times 1\ 000(\mu\text{A}/\text{cm}^2) \times (0.009 \times 0.004\ 1(\text{cm}^2))=0.447(\mu\text{A})$

然后根据 2.2 的 GAMMA 曲线,GRAY9 具有最小的非零亮度(0.1%),采用与相同的算法,计算出 OLED 所需最小驱动电流为 3 nA。

综上所述,子像素 ROLED 驱动电流的范围为 3~447 nA,子像素 GOLED 驱动电流的范围为 4~495 nA,子像素 BOLED 驱动电流的范围为 7~921 nA。

3.2 驱动管 M2 相关参数计算

(1) 驱动电流范围

驱动管 M2 的驱动电流范围与 OLED 相同,以 R 器件为例,其单个子像素 R 的驱动电流范围为 3~447 nA。

(2) 确定 V_{DD} 取值范围

试验电路及仿真波形如图 4 所示,从该曲线可以看出, V_{DD} 最佳的取值为 9.6 V。

(3) 驱动管宽长比 W/L 取值范围

根据电路工作原理,驱动管 M2 工作在饱和

区,满足以下两个条件:

$V_{\text{gs}2} < V_{\text{th}2}$ 和 $V_{\text{ds}2} \leq V_{\text{gs}2} - V_{\text{th}2}$, 其中 $V_{\text{ds}2} = V_{\text{oled}} - V_{\text{dd}}$, 由 $I_{\text{oled}} = I_{\text{ds}2} = \frac{\mu C_{\text{ox}}}{2} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{\text{gs}2} - V_{\text{th}2})^2$

可以推导出:

$$\frac{W}{L} \geq \frac{2I_{\text{oled}}}{\mu C_{\text{ox}} (V_{\text{dd}} - V_{\text{oled}})^2}$$

根据 TFT 工艺特征, $\mu = 72\ \text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$, $\epsilon_{\text{ox}} = 3.9$, $t_{\text{ox}} = 80\ \text{nm}$, 可以计算出:

$$C_{\text{ox}} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{\text{ox}}}{t_{\text{ox}}} = \frac{8.85 \times 10^{-14} \times 3.9}{80 \times 10^{-7}} = 4.32 \times 10^8\ \text{f}/\text{cm}^2$$

结合前面已经推导出 $447\ \text{nA} \geq I_{\text{oled}} \geq 3\ \text{nA}$, $9\ \text{V} \geq V_{\text{oled}} \geq 3\ \text{V}$, $V_{\text{dd}} = 9.6\ \text{V}$, 带入上式得: $\frac{W}{L} \geq 0.797$ 。

在确定 V_{DD} 过程中设定的 $\frac{W}{L} = 1$ 满足此条件,无需再进行调整。故确定 $V_{\text{DD}} = 9.6\ \text{V}$, $W = L = 4\ \mu\text{m}$ 。

(4) 确定 $V_{\text{g}2}$ 的取值范围

试验电路及仿真波形如图 5 所示,从该曲线可以看出, $V_{\text{g}2}$ 最大值的取值 2.98 V, 因此 $V_{\text{g}2}$ ($=V_{\text{data}}$) 的取值范围为 0~2.98 V。

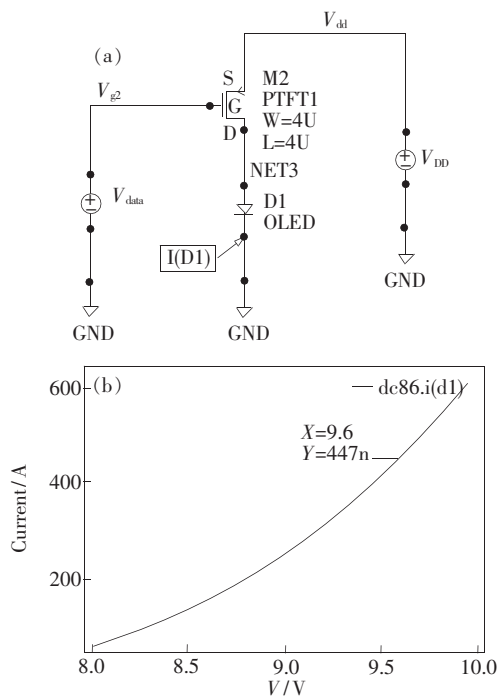


图 4 确定 V_{DD} 的试验电路图及仿真波形
Fig. 4 Test circuit and simulation waveform for V_{DD}

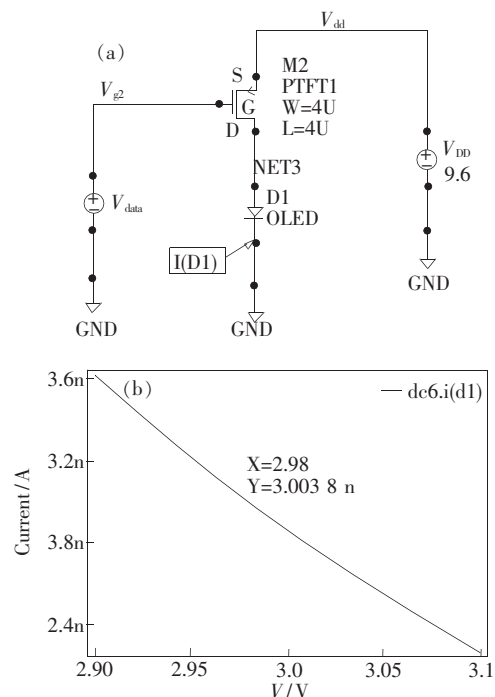


图 5 确定 $V_{\text{g}2}$ 的试验电路图及仿真波形
Fig. 5 Test circuit and simulation waveform for $V_{\text{g}2}$

3.3 开关管 M1 相关参数计算

(1) 开关管宽长比 W/L 取值范围

根据电路工作原理, 开关管 M1 工作在开关状态。

当 M1 导通时, 稳定在非饱和区, 饱和区为其过渡状态, 电流大小分别为 $I_1 = \frac{\mu C_{ox} W}{L} (V_{gs1} - V_{th1}) V_{ds1}$ 和 $I_2 = \frac{\mu C_{ox} W}{2L} (V_{gs1} - V_{th1})^2$ 与 $\frac{W}{L}$ 成正比, 在显示数据写入期间通过对存储电容 C_s 的充放电来实现数据写入。电流过小将导致充放电不充分, 也就是数据不能准确写入。因此面板对开关管导通电流的大小有要求, 为 $I_{on} \geq \frac{KC_s \Delta V_{on} N_{row}}{T_{frame}}$, 其中 ΔV_{on} 为数据电压最大变化值 (最暗与最亮), N_{row} 为水平扫描线数, T_{frame} 为图像更新时间 (帧周期), K 为一经验值^[6]。因此, W/L 不能取太小, 而应该是越大越好, 也就是保证数据电压的准确写入。

当 M1 截止时, 工作在截止区。但并非真正截止, 有漏电流 (也就是关态电流) 存在, 漏电流的大小为 $I_{off} = q(n\mu_n + p\mu_p) d_s \frac{W}{L} V_{ds} (q, n, \mu_n, p, \mu_p, V_{ds})$ 分别为电子电荷量、电子密度、电子迁移率、空穴密度、空穴迁移率、有源层沟道厚度、漏源电压) 与 W/L 成正比。该电流在显示维持期间对存储电容 C_s 充放电导致写入的数据电压发生变化, 影响显示效果。因此面板对开关管截止电流的大小也有要求, 为 $I_{off} \leq \frac{C_s \Delta V_{on}}{N_{gray} M T_{frame}}$, 其中 N_{gray} 为灰阶数, M 为安全系数^[6-7]。因此, W/L 不能取太大, 而应该是越小越好, 也就是保证存储电容 C_s 上的数据电压保持在一定范围内。综上所述, 取值即要满足高导通电流的要求, 也要满足低截止电流的要求, 使得他们之间的开关比 (on/off Ratio) 尽可能大。根据目标面板采用的 TFT 电学特性以及工艺特征, 取 M1 的 $W=L=4 \mu\text{m}$, $W/L=1$ 。

(2) 存储电容 C_s 取值计算

为保证开关管 M1 可靠地导通和截止, 暂定 V_{scan} 脉冲正电平为 +10 V, 负电平为 -10 V。在此基础上确定存储电容 C_s 的取值范围。

目标面板的刷新频率是 60 Hz, 分辨率是 1 024RGB×768, 每行选通时间即行扫描脉冲周期为 $1/60/768 \text{ s} = 21.7 \mu\text{s}$ 。由于在显示维持期间 (长

达 16 645 μs , 占据整个显示时间的 99.9%), 开关管 M1 上存在漏电流, 这导致 C_s 上的电荷不断地被泄放, V_{g2} 上的电压不断降低。 C_s 越大 ΔV_{g2} 就越小显示灰度越稳定, 但 C_s 增大会降低单元像素的开口率从而导致屏幕显示灰度的降低; C_s 太小又会使 V_{g2} 降低太多导致显示灰度失真, 所以 C_s 的选择要综合考虑这两方面因素。本文中的灰阶分辨电压 $\Delta V_{g2} = 0.1 \text{ V}$ (根据 GAMMA 曲线、像素驱动电路的 $I-V$ 曲线计算), 使得 ΔV_{g2} 刚刚小

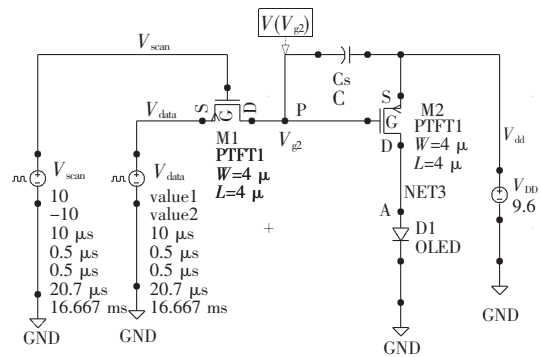


图 6 C_s 瞬态分析试验电路图
Fig. 6 Test circuit diagram for C_s

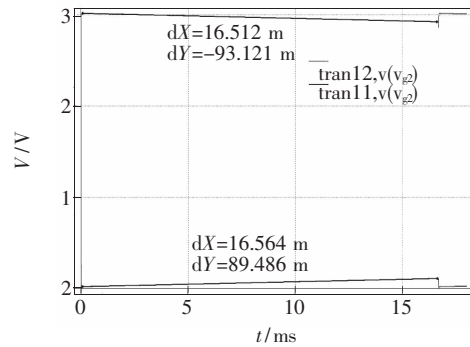


图 7 $C_s = 1.6 \text{ pF}$ 时的 V_{g2} (维持) 瞬态响应曲线
Fig. 7 Transient response curve of V_{g2} (maintain) for $C_s = 1.6 \text{ pF}$

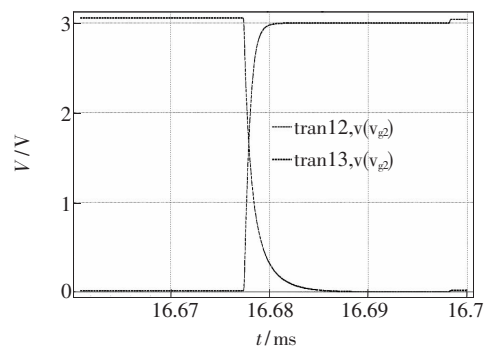


图 8 $C_s = 1.6 \text{ pF}$ 时的 V_{g2} 瞬态 (充放电) 响应曲线
Fig. 8 Transient response curve of V_{g2} (charge and discharge) for $C_s = 1.6 \text{ pF}$

于 0.1 V 的 C_s 取值为较佳值^[5,8]。

试验电路如图 6 所示, V_{g2} 响应曲线如图 7 所示。当 $C_s = 1.6$ pF 时 刚刚小于 0.1 V, 说明 $C_s = 1.6$ pF 满足电路要求。此时 V_{g2} 充放电波形如图 8 所示, 充放电时间足够, 也说明 $C_s = 1.6$ pF 满足电路要求^[9-10]。

4 实验结果和分析

综上所述, 确定 2T1C 像素驱动电路参数为 $V_{DD} = 9.6$ V、 $(W/L)_{M2} = 1:1$ 、 $V_{data} = 0 \sim 2.98$ V、 $(W/L)_{M1} = 1:1$ 、 $V_{scan\ min} = -10$ V、 $V_{scan\ max} = 10$ V、 $C_s = 16$ pF, 确定参数后的电路原理图如图 9 所示, 仿真波形如图 10 所示。

从图 10 的仿真波形来看, V_{data} 准确地实现了

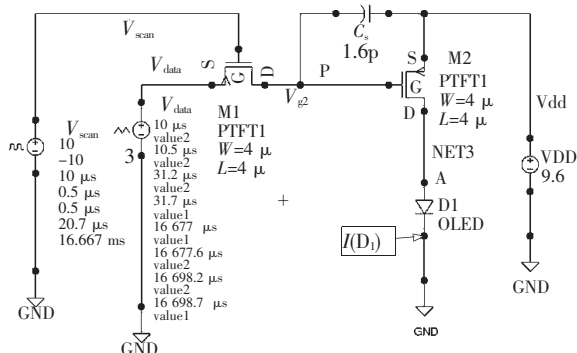


图 9 确定电路参数的 2T1C 像素电路图^[11]

Fig. 9 2T1C pixel circuit with parameters

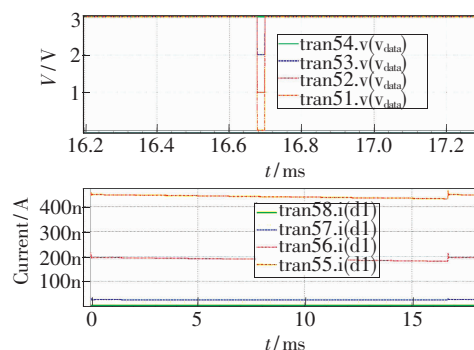


图 10 2T1C 像素电路响应曲线

Fig. 10 Response curve of 2T1C pixel circuit

对通过 OLED 的电流的控制, 说明前面参数设计结果正确。

5 结 论

以最基本的 2T1C 结构的 AMOLED 像素驱动电路为例, 提出了一套流程化的参数设计方法。SmartSpice 软件上的仿真实验表明, 本文提出的这套方法切实可行, 能够快速地确定像素驱动电路的参数, 提供了一套相对完整、全面的设计方法。当然, 由于像素驱动电路中部分参数之间的相互关联, 其参数设计流程也会存在各种变化, 需要在具体的工程实践中不断归纳总结优化, 以取得更好的设计成果。

参 考 文 献:

- [1] 李云飞. 有机电致发光显示器件的 a-Si TFT 像素电路模拟研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [2] 夏志强. Poly-Si TFT 有源驱动 OLED 像素电路[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [3] 沈匿, 林祖伦, 陈文彬, 等. AMOLED 像素电路的设计与仿真研究[J]. 电子器件, 2011, 34(5): 550-554.
- [4] SILVACO, Inc. ModelLib User's Manual [R]. US, 2010: 899-900.
- [5] 王丽杰, 张彤, 刘式塘. Poly-Si TFT 有源驱动 OLED 单元像素电路的参数设计[J]. 吉林大学学报(理学版), 2005, (3): 338-342.
- [6] 陈志强, 刘晓彦. 低温多晶体(LTPS)显示技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [7] 戴亚翔. TFT-LCD 面板的驱动设计[M]. 中国台湾: 五南出版社, 120-122.
- [8] Ohta M, Tsutsu H, Takahara H, et al. A novel current programmed pixel for active matrix OLED displays [C]// Dig. Tech. Papers, SID Int. Symp, San Jose, CA: SID, 2003: 108-111.
- [9] SILVACO, Inc. SmartSpice User's Manual [R]. US, 2011: 796-812.
- [10] 汪建民. PSpice 电路设计与应用(第 2 版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [11] SILVACO, Inc. Gateway User's Manual [R]. US, 2010: 101-193.