

AM-OLED 驱动控制芯片中电荷泵的设计

周 静, 魏廷存

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710065)

摘 要: AM-OLED(有源矩阵-有机发光二极管)被称为下一代平板显示技术. 在 AM-OLED 驱动控制芯片的电源电路设计中, 电荷泵电路的设计尤为关键. 电荷泵的功能是对输入电压按一定倍数进行 DC-DC 升压、降压和反压, 为其他模块提供供电电压. 在详细分析 AM-OLED 驱动控制芯片对电源电路需求的基础上, 完成了对电荷泵系统的 Verilog-A 建模和设计, 最后采用 0.16 μm HV 工艺对电路进行了 HSPICE 仿真验证.

关键词: AM-OLED; 驱动控制芯片; 电源模块; 电荷泵

中图分类号: TN141.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)05-0154-05

Design of Charge Pump in AM-OLED Driver IC

ZHOU Jing, WEI Ting-cun

(School of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: AM-OLED (Active Matrix-Organic Light Emitting Diode) is called the next-generation flat panel display technology. The design of the charge pump is the key point for the design of power supply module in AM-OLED driver IC. The charge pump can be used as a booster or a buck or an inverter of the input voltage, to supply the operating voltages for other circuit block. After analyzing the function and performance requirements of power supply module in AM-OLED driver IC, the Verilog-A model and the design of all charge pump module have been completed and they are simulated by HSPICE using 0.16 μm HV process.

Key words: AM-OLED; Driver IC; power supply module; charge pump

1 引言

近年来, AM-OLED 凭借响应速度快、自发光、显示画质好、低功耗, 以及采用 COG (Chip on Glass) 技术, 使整体驱动电路具有小型化、轻薄化的特点, 成为平板显示的发展趋势. 在电源模块中, 电荷泵系统需产生的电压种类多, 关系复杂, 因此成为电源模块设计的难点和关键. 本文提出一种新的适用于 AM-OLED 驱动控制电路的电荷泵系统结构, 采用自顶而下的方法设计完成.

2 电荷泵系统整体分析与设计

图 1 展示了 AM-OLED 驱动控制芯片电源系统各个电压如何设置以及产生的先后次序. VCI

(2.5~3.3 V) 是 AM-OLED 驱动电路模拟部分提供的外部电源电压. VCI1 是第一级升压系统提供的输入参考电压. VDD 为内部数字电路和随机存取存储器 (RAM) 提供电源电压, 由 VCI 产生. VLOUT1、VLOUT2、VLOUT3 分别为第一、第二、第三级升压电荷泵的输出引脚, 同时也是应用 VLOUT1、VLOUT2、VLOUT3 电压电路的输入引脚. VGH 用作栅极驱动电路的正电压, VREG1OUT 作为幅度在 VLOUT1 和 GND 之间的灰度级电压产生电路的参考电压, 两者由 VLOUT2 产生. VGL 用作栅极驱动电路的负电压, VINT 作为初始化 OLED 面板的电压, 由 VLOUT3 产生. 因此, 本文设计电荷泵系统采用三级升压电荷泵, 分别产生 VLOUT1, VLOUT2, VLOUT3. 其

图 6 所示为升压电荷泵的电路结构,其工作由

图 6 所示为升压电荷泵的结构,其工作由

```

@ (cross(V(clk)-logicH,+1))
begin
  if(V(dk)>logicH && V(d1)<logicL)
    routup=(U(in1)*c1+routup*c2-
      -routdown*c3+U(in2)*c1)/(c1+c2+c3);
  else if(V(dk)>logicH && V(d1)>logicH)
    begin
      routup=(U(in1)*c1+routup*c2-routdown*c3
        +U(in2)*c1-up1*T/2)/(c1+c2+c3);
      routdown=routdown-T*down1/(2*c4);
    end
  end
end
@ (cross(V(clk)-logicL,-1))
begin
  if(V(dk)>logicH && V(d1)<logicL)
    routdown=(routdown*c4-routup*c3)/(c3+c4);
  else if(V(dk)>logicH && V(d1)>logicH)
    begin
      routdown=(routdown*c4-routup*c3
        -down1*T/2)/(c3+c4);
      routup=routup-up1*T/(2*c2);
    end
  end
end
V(outup) <+ routup;
V(outdown) <+ routdown;

```

图4 升压/反压电荷泵

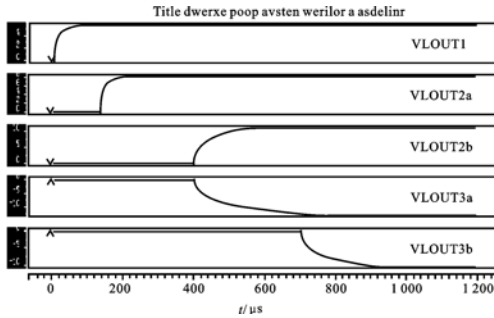


图5 建模仿真结果

时钟严格控制,每个时钟周期分为两种工作模式,充电模式和电荷转移模式.在电荷泵的启动阶段,即VO达到稳定前,充电模式下,开关S1、S2闭合,S3、S4打开,电源VIN1通过S1、C1、S2通路将C1充电至VIN1.在电荷转移模式下,S1、S2断开,S3、S4闭合,C1下极板电压立刻变为VIN2,根据电容两端的电压不能发生突变的原理,C1上级板电压本应立即变为VIN1+VIN2,以保证C1两极板的电压差为VIN1,然而由于电荷泵正在启动,VO还小于稳定值VIN1+VIN2,所以C1上级板的电荷将转移一部分到C2的上级板.经过若干个时钟周期,C1源源不断将电源VIN1的正电荷搬运至C2的正极板,直至VO达到稳定值(VIN1+VIN2).电荷泵启动完成后,即正常工作时,C1从电源向C2搬运的电荷主要用于提供负载电流.

为了便于推导,设计开关尺寸使S1、S2、S3、S4的等效电阻相同,得出

$$\begin{aligned}
 W_{2N} &= (1/3)W_{3P}, \\
 W_{1P} &= W_{3P} \quad W_{1N} = (1/3)W_{3P}, \\
 W_{4P} &= W_{3P} \quad W_{4N} = (1/3)W_{3P}
 \end{aligned} \quad (1)$$

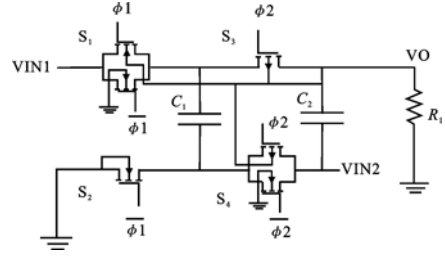


图6 升压电荷泵结构

式中, W_{2N} 、 W_{1N} 、 W_{4N} 分别是开关S2、S1、S4 NMOS管沟道宽度, W_{3P} 、 W_{1P} 、 W_{4P} 分别是开关S3、S1、S4 PMOS管沟道宽度.将所有MOS管尺寸可用 W_{3P} 表示.无论是充电模式还是电荷转移模式,都有电流流过开关,开关等效电阻消耗的功率如式(2):

$$\begin{aligned}
 P_C &= 8I_L R \times I_L \\
 &= 8I_L^2 R \\
 &= \frac{8I_L^2 L}{\mu_P C_{OX} W_{3P} (VIN1 + VIN2 - V_{THP})} \quad (2)
 \end{aligned}$$

式中, R 是S1~S4开关等效电阻, I_L 是负载电流.

电荷泵开关活动时的动态功率损失主要由两部分组成^[1],一部分是对开关MOS管栅极充电和放电造成的损失,另一部分是和C1相连的开关源/漏极开关充放电的损失.

栅电容每充一次电存储的能量为 $0.5CU^2$,释放一次电消耗的能量也为 $0.5CU^2$,故在一个周期内消耗的总能量为 CU^2 , $C=C_g=WLC_{OX}$,将开关MOS所有宽相加,得 $4W_{3P}$,时钟周期为 f ,所以MOS管栅极能量损失为

$$P_G = 4W_{3P} LC_{OX} f (VIN1 + VIN2)^2 \quad (3)$$

当电荷泵充电在充电模式时,S1、S2导通,S3、S4断开,因为电荷泵需一直向负载提供电压,因此由C2向负载提供的电荷量为 $(T/2)I_L$,折合成输出电压的电压差,即纹波电压为

$$\Delta VO = (T/2) I_L / C_2 = I_L / (2fC_2) \quad (4)$$

MOSFET的源/漏极和衬底电容与沟道宽度成正比,用 $C'_{D/S}$ 表示每单位沟道宽度的源/漏极与衬底的电容,则 $C_{D/S} = WC'_{D/S}$.漏/源和衬底的电压差为 $V_{DB/SB} = VIN2$,源/漏的功率损失为

$$P_{D/S} = 4W_{3P} C'_{D/S} f VIN2^2 \quad (5)$$

由式(4)推导出 f 表达式,则总的功耗损失为

$$\begin{aligned}
 P_{loss} &= P_C + P_G + P_{D/S} \\
 &= \frac{8I_L^2 L}{\mu_P C_{OX} W_{3P} (VIN1 + VIN2 - V_{THP})} + \\
 &\quad \frac{2W_{3P} LC_{OX} I_L (VIN1 + VIN2)^2}{C_2 \Delta VO} + \\
 &\quad \frac{2W_{3P} C'_{D/S} I_L VIN2^2}{C_2 \Delta VO} \quad (6)
 \end{aligned}$$

对式(6)求导,令导数为0,得到 P_{loss} 的最优值,此时算得的 W_{3P} 即使损失功率最小的最优宽度值:

$$W_{opt} = \sqrt{\frac{4 I_L L C_2 \Delta V O}{\mu P C_{OX} (VIN1 + VIN2 - V_{THP}) [L C_{OX} (VIN1 + VIN2)^2 + C_{D/s} VIN2^2]}} \quad (7)$$

采用 HSPICE 对上述理论分析进行仿真验证。

图 7(a)展示了不同开关尺寸对输出电压的影响。尺寸越大,则电荷泵的等效电阻越小,电荷泵的充电时间常数就越小,所以充电快,建立时间短。由于等效电阻减小,输出电压相应增大,这点也在图 7(a)中得到很好的体现。本文选择的沟道宽度为 $600 \mu m$ 。

图 7(b)所示为开关频率对输出的影响。开关频率越大,单位时间由电源通过 C_1 向 C_2 转移的电荷就越多,电压纹波就越小^[2]。

如图 7(c)所示,当泵电容为 $10 \mu F$ 、 $15 \mu F$ 、 $20 \mu F$ 时,建立时间分别大约是 $8 ms$ 、 $13 ms$ 、 $18 ms$ 。图中三条曲线可以清晰看出随着泵电容的增大,电荷泵的建立时间明显增大。 $V=Q/C$,要使电容上保持稳定的电压,电容越大,则需要转移的电荷就越多,所以需要较多的时钟周期使电容两端的电压达到稳定。

要求升压电荷泵提供不小于 $2 mA$ 的负载电流^[3]。如图 7(d)所示,当负载电流增大时,输出电压减小。负载对电荷泵的输出电压有拉电流的作用,负载电流越大,输出电压越小。

图 8 是升压/反压电荷泵的结构。升压/反压电荷泵在升压电荷泵结构的基础上再加了反压电路的部分,这种电荷泵同样在一个时钟周期工作在两种模式。充电模式时, $S1$ 、 $S2$ 、 $S7$ 、 $S8$ 闭合,其余开关打开。 $VIN1$ 将电容 C_1 充电至 $VIN1$ 。在电荷转移模式时, $S3$ 、 $S4$ 、 $S5$ 、 $S6$ 闭合,其余开关打开。由于 C_1 两个极板的电压不能突变, C_1 的上极板本应立即变为 $VIN1 + VIN2$,但 C_2 和 C_3 的上极板在启动阶段还没有达到 $VIN1 + VIN2$,故 C_1 将一部分电荷转移至 C_2 和 C_3 的上极板, C_1 上级板电压在 $VIN1$ 和 $(VIN1 + VIN2)$ 之间。在下一个充电模式, $VIN1$ 向电压不足 $VIN1$ 的 C_1 上级板充电。经过若干个这样的电荷搬运时钟周期,最终使 C_2 的上极板 $V+$ 被充电至 $VIN1 + VIN2$, C_4 的下极板 $V-$ 被反压至 $-(VIN1 + VIN2)$ 。同升压电荷泵一样,此电荷泵为负载供电正常工作时,两个输出端会产生纹波。

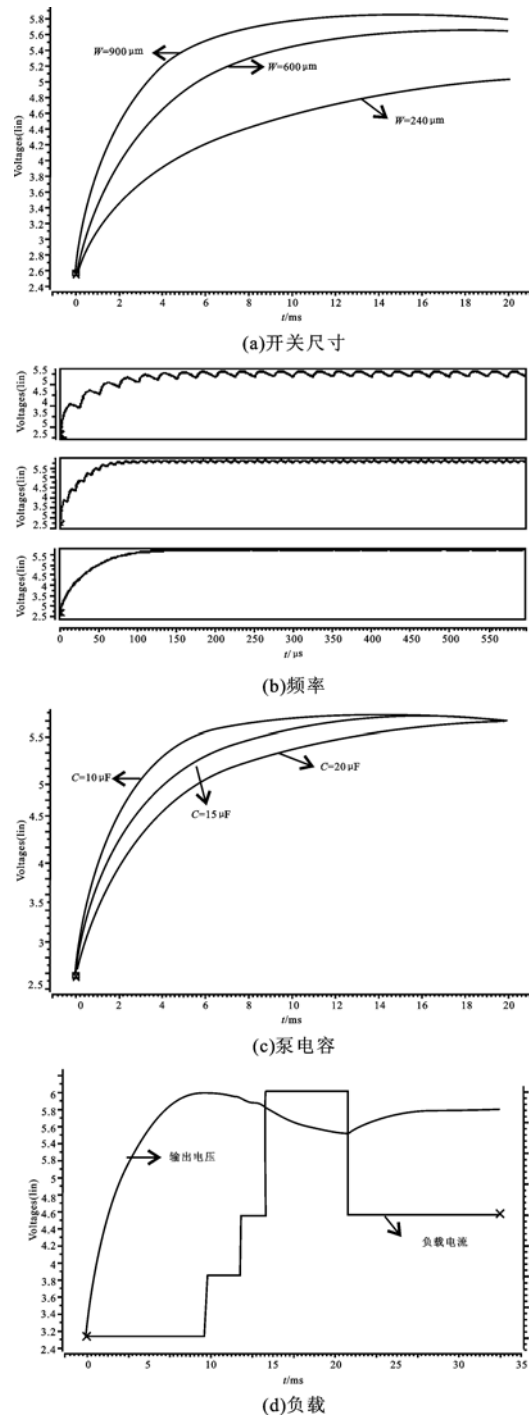


图 7 开关尺寸、频率、泵电容与负载对输出电压的影响

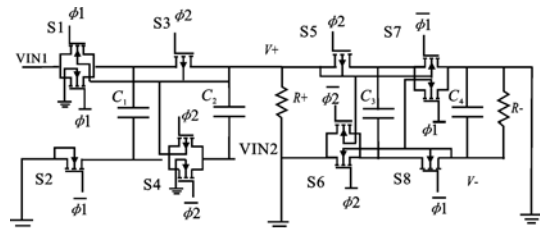


图 8 升压/反压电荷泵电路结构

升压/反压电荷泵性能分析方法与升压电荷泵类似,这里不再赘述.

5 电荷泵系统整体仿真

按照图 2 将电荷泵系统的整体结构进行仿真. clk1 选取的时钟频率为 50 kHz, clk2、clk3、clk4 选取的频率都为 20 kHz. 依次启动电荷泵,当输出电压都达到较稳定时,70 ms 时在输出端 VLOUT3b 加上负载电流 0.1 mA, 85 ms 时在输出端 VLOUT2a 加上负载电流 0.1 mA. 仿真结果如图 9 所示.

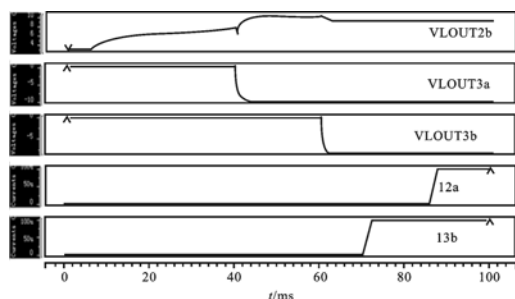


图 9 电荷泵系统电路整体仿真

表 2 中列出电荷泵系统在 VLOUT2a、VLOUT3b 带 0.1 mA 负载时各个输出电压的测量值,求出升压效率. VLOUT1 和 VLOUT3b 的升压效率较高,不少于 94%,而 VLOUT2a、VLOUT2b 和 VLOUT3a 的稍低,但也都不得低于 87%,基本达到电荷泵系统对输出电压的要求.

表 2 电荷泵输出升压效率

	理想值/V	测量值/V	升压效率/%
VLOUT1	5.5	5.17	94.0
VLOUT2a	8.0	7.12	89.0
VLOUT2b	11.0	9.76	88.7
VLOUT3a	-11.0	-9.58	87.1
VLOUT3b	-8.5	-8.18	96.2

6 结束语

本文对对电源电路进行了明确的模块划分和系统设计. 使用 Verilog-A 对系统进行行为级建模,分析了电荷泵如何在充电模式和电荷转移模式实现升压或反压,以及 MOS 管沟道宽度、开关频率、泵电容以及负载对输出电压和消耗功率的影响. 设计了两相不交叠时钟产生电路和相关的电平转移电路. 最后按照电荷泵系统的启动时序,采用 0.16 μm HV 工艺,对整体电路进行了仿真验证. 仿真结果表明,在带负载的情况下,各个输出电压的升压效率都在 87% 以上,有些甚至到 94% 以上,达到了电荷泵系统的设计指标,其功能和性能均满足 AM-OLED 驱动控制芯片的要求.

参考文献:

- [1] Joep Jacobs, Dirk Hente, Eberhard Waffenschmidt. Drives for OLEDs[C]//IEEE Industry Application Conference. IAS Annual meeting. New orleans, IA; IEEE, 2007: 1147-1152.
- [2] Blades CD J, Alison B Walker. Simulation of organic light-emitting diodes[J]. Synthetic Metals, 2005(3): 111-112.
- [3] Hack Mike, Brown J J, Mahon J K. Performance of High Efficiency AM-OLED Displays[J]. Journal of the Society for information Display, 2001,9(3):191-195.

作者简介:

周 静 女,(1989—),硕士研究生.研究方向是模拟与混合信号 VLSI 设计、AM-OLED 驱动控制芯片的设计与仿真验证.

魏廷存 男,(1960—),博士,教授,博士生导师.研究方向为 TFT-LCD 驱动控制芯片、高精度稳压电源芯片以及高速接口芯片.

(上接第 153 页)

- [6] Haibin Liu, Vlado Keselj. Combined mining of Web server logs and web contents for classifying user navigation Patterns and Predicting users' future requests[J]. Data & Knowledge Engineering, 2007, 61(2): 304-330.
- [7] 方成效, 袁可风. Web 日志挖掘的数据预处理研究[J]. 计算机与现代化, 2006, 128(4): 81-84.
- [8] 李晓丽. 基于 DCE 的可信 Web 服务度量模型的分析

与研究[J]. 科技通报, 2013, 29(8): 104-106.

作者简介:

高文莲 女,(1968—),硕士研究生,副教授.研究方向为计算机网络和计算机应用.

高永强 男,(1974—),硕士研究生,讲师.研究方向为数据库技术.