

用于 AM-OLED 的高性能 DC-DC 变换器设计

王 琦, 魏廷存, 李 博, 李 勇, 夏佳佳

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710072)

摘 要: 设计了一款用于 AM-OLED 驱动控制系统的高性能 DC-DC 变换器. 该变换器可同时提供正压和负压输出. 在误差放大器中通过引入负反馈, 扩展了线性工作范围, 减小了输出纹波, 同时引入低压隔离电路, 提高了系统启动速度. 在比较器中采用轨对轨差动输入级, 提高了系统动态响应速度, 减小输出纹波. 在 PWM 驱动电路中采用低功耗驱动电路, 减小了系统功耗, 提高了转换效率. 采用 $0.16\ \mu\text{m}$ HV CMOS 工艺对电路进行设计和 Spice 仿真, 仿真结果表明, 在工作频率为 $1.5\ \text{MHz}$, 输入电压在 $2.5\sim 4.5\ \text{V}$ 范围变化时, 正向输出电压稳定在 $4.6\ \text{V}$, 负向输出电压可通过改变反馈电阻在 $-2.4\sim -6.4\ \text{V}$ 范围内调节, 输出纹波小于 $25\ \text{mV}$, 负载电流最高可达 $250\ \text{mA}$, 转换效率达 85% 以上, 均满足 AM-OLED 驱动控制芯片的要求.

关键词: AM-OLED; DC-DC 变换器; 脉宽调制方式; 误差放大器; 负反馈

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)04-0103-05

Design of a High-performance DC-DC Converter Used for AM-OLED

WANG Qi, WEI Ting-cun, LI Bo, LI Yong, XIA Jia-jia

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

Abstract: This paper proposes the design of a high-performance DC-DC converter used for the AM-OLED driver and controller system. The converter can output both the positive and negative voltages at the same time. In the error amplifier, feedback resistor is used to enlarge the dynamic range and so as to reduce the output ripple, and the low voltage isolation circuit is also introduced to improve the system start speed. In the comparator, the rail-to-rail differential input stage is used to improve the dynamic response speed and so as to reduce the output ripple. In the PWM driver circuit, the low-power driving circuit is used to improve the conversion efficiency. The circuits are designed in $0.16\ \mu\text{m}$ HV CMOS process. The Spice simulation results show that, when the input voltage is changed from $2.5\ \text{V}$ to $4.5\ \text{V}$ and the operating frequency is $1.5\ \text{MHz}$, the positive output voltage is regulated to $4.6\ \text{V}$ and the negative output voltage can be changed from $-2.4\sim -6.4\ \text{V}$ by adjusting the feedback resistors; furthermore the output ripples are less than $25\ \text{mV}$, the maximum load current can be $250\ \text{mA}$, and the conversion efficiency is better than 85% , these performances are satisfied with the requirements of the AM-OLED driver and controller system.

Key words: AM-OLED; DC-DC converter; PWM mode; Error Amplifier; Feedback

1 引言

当前, 平板显示已成为现代电子信息的一大支柱产业. 作为当今主流的平板显示技术, 液晶显示 (Liquid Crystal Display, LCD) 存在显示视角窄、响应速度偏慢、被动发光、抗高温能力差等缺点. 有源矩阵有机发光二极管 (Active-Matrix Organic Light

Emitting Diode, AM-OLED) 由于具有高画质、低功耗和轻薄等优点, 被公认为取代液晶的下一代平板显示技术, 成为国内外研究开发热点^[1].

AM-OLED 是电流驱动器件, 其发光亮度与其电流成正比. 因此, 为了实现高画质, AM-OLED 的驱动系统需要高精度的直流供电电压, 同时还要求较高的工作速度和较小的输出纹波.

收稿日期: 2013-07-16; 修回日期: 2013-09-02

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目 (2011KTCQ01-22)

本文采用 $0.16\ \mu\text{m}$ HV CMOS 工艺,设计一款用于 AM-OLED 显示驱动的高性能 DC-DC 变换器,可同时提供正、负两种输出电压,采用脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation, PWM)方式^[2]实现输出电压的调节.表 1 中给出了本设计的具体指标.

表 1 DC-DC 变换器设计指标

项目	指标	项目	指标
输入电压	2.5~4.5 V	工作频率	1.5 MHz
输出正压	4.6 V	纹波电压	$\leq 60\ \text{mV}$
输出负压	-2.4~-6.4 V	负载电流	$\leq 250\ \text{mA}$
转换效率	$>85\%$	工作温度	-40~85℃

2 系统结构设计

图 1 所示为本文设计的升压电路的系统结构,采用 Boost 型拓扑结构^[3],主要由 PWM 电路、功率器件和辅助电路三部分组成. PWM 电路产生一定周期的方波信号,控制开关管周期性通断,该方波信号的占空比跟踪输出电压的变化,使输出电压趋于稳定.功率器件部分包括开关管、整流管、输出电压反馈电路、电感等.辅助电路部分包括振荡器电路、基准电压电路等.

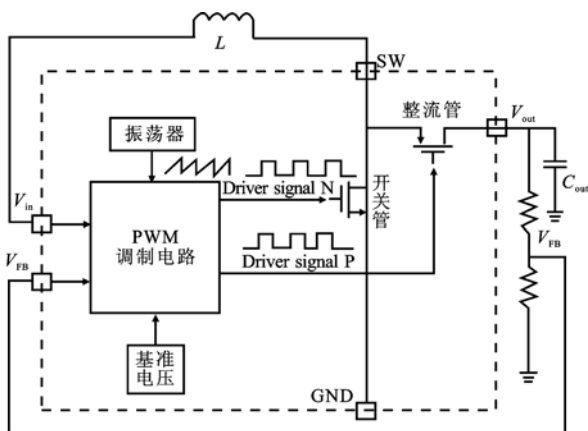


图 1 升压电路系统结构

图 2 所示为反压电路的系统结构.采用的拓扑结构为 Buck-Boost 型,控制及辅助电路结构与升压电路相同.不同的是为满足 AM-OLED 驱动电路需要不同负压的要求,通过驱动电路提供控制信号改变反馈电阻的阻值,从而实现不同的输出负值.

PWM 电路结构如图 3 所示,主要由误差放大器(EA)、比较器(COMP)和驱动电路(PWM Driver)组成.输出电压 V_{out} 通过电阻 R_1 和 R_2 分压产生反馈电压 V_{fb} ,送入 EA 的负输入端,而由带隙基准产生的基准电压 V_{ref} 送入 EA 的正输入端.两个电压信号的差经 EA 放大后送入比较器,与振荡器产

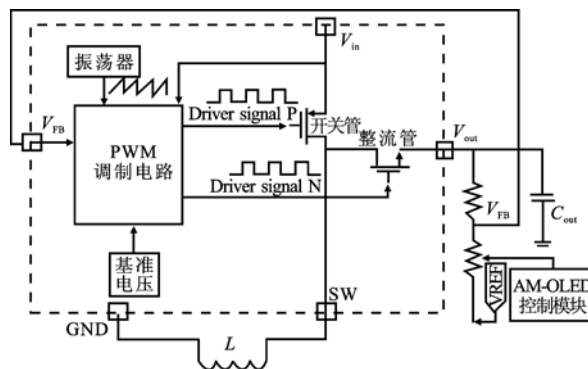


图 2 反压电路系统结构

生的 1.5 MHz 锯齿波比较后,比较器输出一定周期的方波信号,其占空比与输出电压的大小有关.为了驱动大功率开关管和整流管,需要在控制逻辑电路后面加入驱动电路.

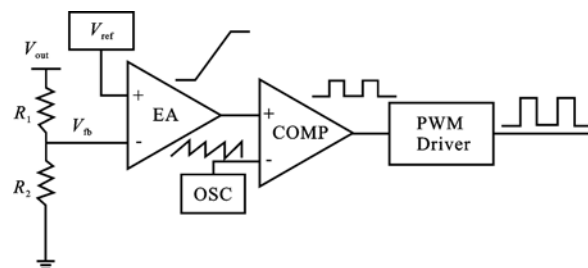


图 3 PWM 电路结构

3 电路设计与分析

3.1 误差放大器

本文在误差放大器的设计中,引入负反馈电路以扩展输出电压的线性动态范围^[4].此外,考虑到系统启动时反馈电压与基准电压相差较大,引入隔离电路阻止低压进入误差放大器,而利用负反馈产生高电平输出,此时 PWM 脉冲的占空比最大,提高了启动速度.本文设计的高线性度误差放大器如图 4 所示.

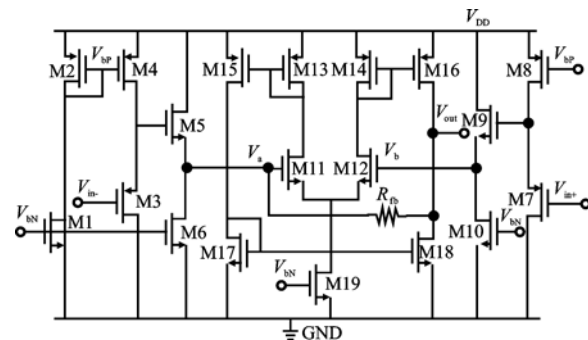


图 4 高线性度误差放大器

M11~M19 组成运算跨导放大器(OTA),M1 和 M2 为放大器提供电流偏置,M3~M6 以及 M7

~M10 均为两级源跟随器,把输入端和 OTA 隔离开.具体动作如下:电源上电后 M5 的栅极电压为 $V_{fb} + |V_{thM3}|$,源极电压为 V_{ref} ,故当 $V_{fb} < V_{ref}$ 时,M5 关断,输出置为高电平,保证以最大占空比对电感充电,直到 V_{fb} 快速上升至目标值,该结构可有效提高系统启动速度.

通过反馈电阻 R_{fb} 把运放连接成闭环形式,降低了放大器的增益,增大了运放的线性放大范围,以实现 PWM 的精细调节.

OTA 的特点为:第一级放大器是二极管负载的共源放大器,虽然增益较低,但输出节点的等效电阻较小,扩展了 OTA 的带宽,提高了小输入信号时的动作速度.第一级电压增益为

$$A_{u1} = g_{m11,12} / g_{m13,14} \quad (1)$$

第二级首先利用电流镜将第一级电流成比例放大,再通过推挽类输出级电路实现高增益和低功耗.设 M15、M16 的宽长比是 M13、M14 的 n 倍,则第二级偏置电流也被放大 n 倍.OTA 运放的总开环增益为

$$A_v = n \times \frac{g_{m11,12}}{g_{m13,14}} \times \frac{g_{m16} + g_{m18}}{2} (r_{o16} || r_{o18}) \quad (2)$$

加入负反馈电阻 R_{fb} 后,闭环增益近似为

$$A_{v-close} \approx 1 + g_{m5} R_{fb} \quad (3)$$

由式(3)知,闭环增益与反馈电阻 R_{fb} 成正比.

因此需选择合适的反馈电阻,以平衡误差放大器的增益和线性度之间的制约关系.对该误差放大器的负向输入端 V_{in-} 进行直流扫描 ($V_{DD} = 2.5 \text{ V}$, $V_{in+} = V_{ref} = 1.25 \text{ V}$),并与开环工作时 ($R_{fb} = \infty$) 进行比较,仿真结果如图 5 所示.可见负反馈增大了线性范围,可实现 PWM 的精细调节.

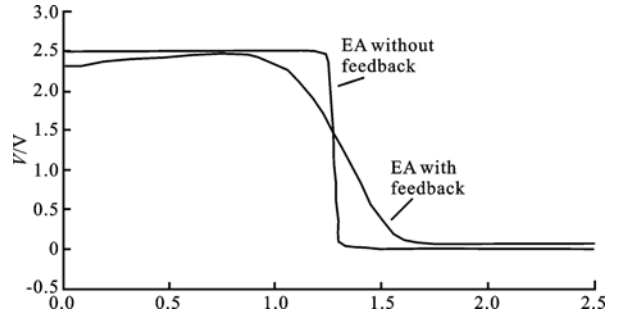


图5 误差放大器的DC仿真结果

3.2 比较器

图 6 所示为本文设计的比较器电路,采用了两级运放结构,以实现较高的开环增益,从而提高比较器的精度.与传统的比较器不同,本文设计的比较器采用了可接收大摆幅输入信号的轨对轨差动放大器作为输入级^[5],以匹配前级误差放大器接近全摆幅的输出范围,提高其线性度,从而提高系统动态响应速度以及输出精度,减小输出纹波.

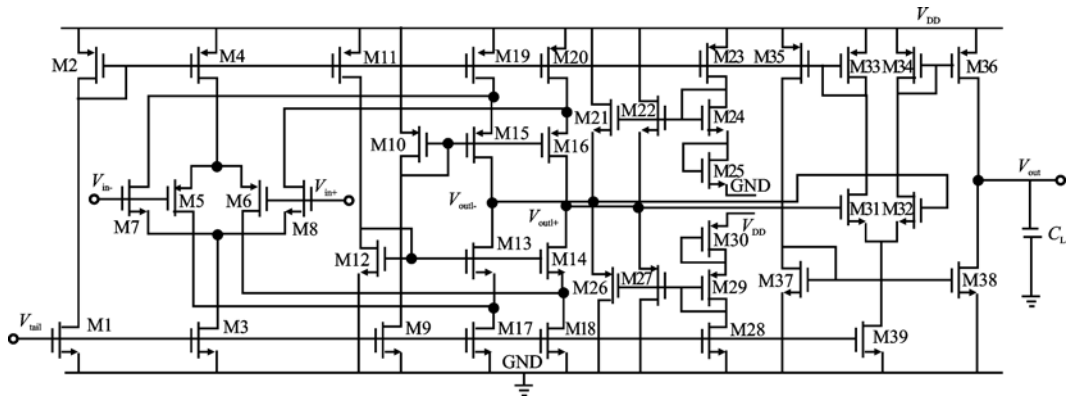


图6 比较器

由于第一级为全差分输出结构,因此需要加入共模反馈电路以控制第一级的输出电压 V_{out1} ,使其在第二级放大器的静态工作点范围之内.图 6 中,采用 M21~M30 组成的钳位电路来限制全差分输出信号的高低直流电平.通过分析,由 M21~M25 组成的电路限制了输出信号的最高直流电平:

$$V_{out1, High} \leq V_{GS25} + V_{GS24} - V_{GS21, 22} \quad (4)$$

由 M26~M30 组成的电路限制了输出信号的最低直流电平:

$$V_{out1, Low} \geq V_{DD} - |V_{GS30}| - |V_{GS29}| + |V_{GS26, 27}| \quad (5)$$

因此,只要给 M23~M25、M28~M30 管子设计合适的宽长比,就可将全差分输出信号的变化幅度限制在第二级 OTA 的有效输入范围内,保证高增益比较器正常工作.

为实现低功耗,输出级仍采用 OTA 结构,可实现甲乙类输出.

3.3 功率管驱动电路

为了提供较大的负载电流,DC-DC 电路中需要

采用大尺寸的功率管,这就要求在逻辑控制电路后面加入驱动电路以提高信号的驱动能力.典型的驱动电路通过级联偶数个反相器以保证信号相位不变,并通过逐级增大反相器管子的宽长比,逐级提高信号驱动能力.根据本文所用的功率管尺寸,采用4级反相器级联的结构^[6],如图7所示.由图可知,本文设计的驱动电路在最后一级未采用传统的反相器结构,而是将反相器的PMOS和NMOS分开,分别由两路独立的控制信号控制.由于两路控制电路结构的不同而产生的死区时间,可避免两管子同时导通时产生的贯通电流损耗.

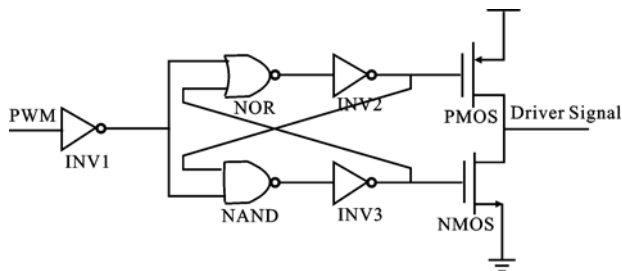
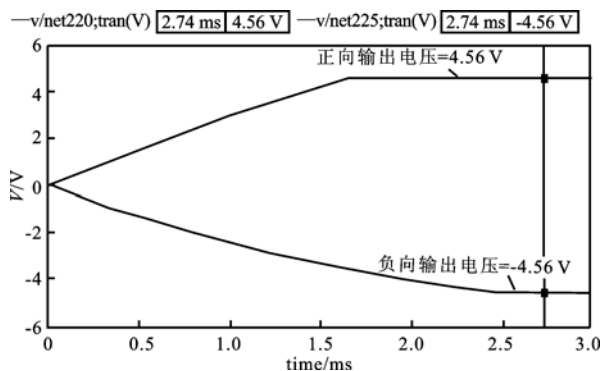


图7 低功耗驱动电路

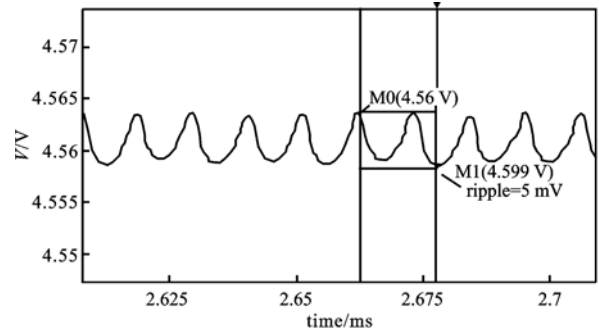
4 仿真结果及讨论

基于 $0.16\ \mu\text{m}$ 的HV CMOS工艺对本电路系统进行设计实现,并用Cadence Spectre软件对整体电路仿真.在TT、 27°C 、负载电流 $I_{\text{out}}=250\ \text{mA}$ 的条件下,输入电压在 $2.5\sim 4.5\ \text{V}$ 范围内变化,对电路系统进行瞬态仿真.此时预设负向输出电压为 $-4.6\ \text{V}$.

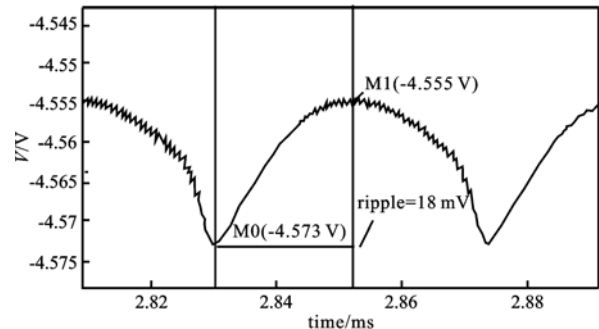
图8和图9所示为当输入电压为 $2.5\ \text{V}$ 时,升压变换器的输出电压为 $4.56\ \text{V}$,稳定后的纹波幅值为 $5\ \text{mV}$;反压变换器的输出电压为 $-4.56\ \text{V}$,稳定后的纹波幅值为 $18\ \text{mV}$.改变输入电压后得到的仿真结果和纹波在表2中列出.

图8 DC-DC变换器系统瞬态仿真波形($V_{\text{in}}=2.5\ \text{V}$)

由仿真结果可知,正向输出电压在不同的输入



(a) 正向输出电压



(b) 负向输出电压

图9 系统输出纹波电压

电压下的纹波电压较小,系统精度较高,电源调整率为 -0.87% 和 $+0.22\%$;负向输出电压在输入电压变化时纹波电压相对较大,其电源调整率分别为 -0.87% 和 $+1.3\%$.

表2 DC-DC变换器系统仿真结果

输入电压/V	正向输出/V	正向纹波/mV	负向输出/V	负向纹波/mV
2.5	4.56	5	-4.56	18
3.5	4.59	6	-4.60	20
4.5	4.61	8	-4.66	23

为了进行对比,对于未采用反馈结构的误差放大器构成的DC-DC变换器,在TT、 27°C 、 $I_{\text{out}}=250\ \text{mA}$ 、 $V_{\text{in}}=4.5\ \text{V}$ 的条件下仿真,输出电压的正向纹波为 $34\ \text{mV}$,负向纹波为 $46\ \text{mV}$,系统的启动时间为 $1.119\ \text{ms}$.而采用本文设计的误差放大器时纹波只有 $8\ \text{mV}$ 和 $23\ \text{mV}$,系统启动时间仅为 $0.983\ \text{ms}$.

表3中列出在TT、 27°C 、 $I_{\text{out}}=250\ \text{mA}$ 条件下,改变输入电压后系统变换效率的仿真结果.可见通过采用低功耗的驱动控制电路设计,可保证系统在正常工作时效率可达 85% 以上.

表3 DC-DC变换器工作效率的仿真

输入电压/V	正向输出/V	效率/%	负向输出/V	效率/%
2.5V	4.56	86.42	-4.56	85.94
3.5	4.59	86.53	-4.60	86.25
4.5	4.61	86.79	-4.66	86.47

5 结束语

本文设计实现了一种可用于 AM-OLED 驱动控制芯片的 DC-DC 变换器,同时实现升压和负压两种功能.通过引入负反馈提高了误差放大器的线性范围,减小了输出纹波.设计了轨对轨输入级的比较器,保证了系统精度和动态响应速度,减小了输出纹波.采用推挽输出级和低功耗驱动电路,保证了较高的转换效率.基于 $0.16\ \mu\text{m}$ HV CMOS 工艺对电路进行仿真验证,在有效输入电压范围内的输出纹波均小于 $25\ \text{mV}$,转换效率达 85% 以上,满足 AM-OLED 驱动控制芯片的要求.

参考文献:

- [1] Peter Pirsch, Hans-Joachim Stolberg. VLSI implementations of image and video multimedia processing systems[J]. IEEE Transaction on circuits and systems for video technology, 1998, 8(11): 878-891.

(上接第 102 页)

并且利用 INWE 对标准单元库器件进行了重新设计,在保持电路版图面积不变的情况下,达到了相较于修改之前 5% 以上的速度提升,同时 PPA 指标也能得到提升.

参考文献:

- [1] Victor S K Lim. Dishing Reduction Using Poly Silicon Buffer STI—CMP Scheme[C]//Proceedings of the 5th International CMP—MIC Conference. Santa Clara, CA:IEEE,2000:177-184.
- [2] Srabanti Pandit. Modeling the effect of gate fringing and dopant redistribution on the inverse narrow width effect of narrow channel shallow trench isolated MOSFETs[C]//Proceedings of the 24th International Conference on VLSI Design. Chennai:IEEE,2011:195-200.
- [3] Arnaud F, Bidaud M. Gate oxide process impact on

- [2] Sebastian J, Lamar D G, Arias M. The voltage-controlled compensation ramp: a new waveshaping technique for power factor correctors[C]// IEEE Applied Power Electronics Conference Exposition. Austin, Tx:IEEE,2008: 722-728.
- [3] Sanjaya Maniktala. 精通开关电源设计[M]. 王志强,译. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [4] 王佳,魏廷存,郑然,等. 应用于 PWM 降压 DC-DC 变换器的高性能误差放大器[J]. 固体电子学研究与进展,2010, 30(1): 129-133.
- [5] 魏廷存,陈莹梅,胡正飞. 模拟 CMOS 集成电路设计[M]. 北京:清华大学出版社,2010:151-154.
- [6] 田锦明,王松林,来新泉,等. AC/DC 开关电源脉宽调制芯片的低功耗设计[J]. 电子科技,2006(6):7-10.

作者简介:

王琦女,(1988—),硕士研究生.研究方向为模拟 CMOS 集成电路设计.

RNCE for advanced CMOS transistors[C]//Proceedings of the 3th European Solid-state Device Research Conference. [s. l.]:IEEE,2002:107-110.

- [4] Jun Zhou. The impact of inverse narrow width effect on sub—threshold device sizing[C]// proceedings of the 16th Asia and South Pacific Design Automation Conference. Yokohama: IEEE,2011:267-272.

作者简介:

郑凯磊男,(1989—),硕士研究生.研究方向为数字电路设计与版图效应研究.

