

一种具有共模反馈的低抖动 LVDS 驱动器

李伟伟, 刘辉华, 徐小良

(电子科技大学 电子科学技术研究院, 四川 成都 610054)

摘 要: LVDS 即低压差分信号, 因其固有的优点在对信号完整性及共模特性要求较高的系统中得到了越来越广泛的应用. 由于非理想传输线和焊盘寄生效应的影响, 输出波形有抖动且共模电压无法稳定. 设计的 LVDS 驱动器采用一种新型预加重技术, 通过引入高频极点的方法降低输出抖动, 输出较为平滑的波形; 而且共模反馈可以稳定共模电压. 在 $0.18\ \mu\text{m}$ 的工艺下, 抖动减小 $70\ \text{mV}$, 共模电压偏移小于 0.46% .

关键词: 低压差分信号; 驱动器; 低抖动; 稳定共模电压

中图分类号: TN432

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)01-0042-04

A Low Ringing LVDS Driver With Common-mode Feedback Circuit

LI Wei-wei, LIU Hui-hua, XU Xiao-liang

(Research Institute of Electronic Science and Technology, UESTC, Chengdu 610054, China)

Abstract: LVDS (Low-voltage Differential Signaling) is more and more used in systems which require keeping signal integrity and stable common-mode voltage. Because of imperfect termination and pad parasitic effects, there are ringing on the output voltage and common-mode voltage is unstable. This circuit designed applies a new pre-emphasis circuit technology which brings in a high frequency pole to decrease ringing and keep the output waves smooth. Besides, common-mode feedback circuit can stabilize common-mode voltage. In $0.18\ \mu\text{m}$ process, the ringing is reduced $70\ \text{mV}$ and the offset of common-mode voltage is less than 0.46% .

Key words: LVDS; driver circuit; low ringing; stable common-mode voltage

1 引言

在信息时代的今天, 硅工艺技术已经使芯片内的时钟频率和微处理器的速度高达几吉赫兹, 但是芯片外部 I/O 接口电路的数据率受到电路以及传输线的限制却未能得到同步的提高, 仅能工作在兆赫兹级. LVDS 为解决这一瓶颈问题提供了可能^[1-2].

LVDS 即低压差分信号, 是 1990 年代才出现的一种数据传输和接口技术. 其核心是用低电压摆幅 (几百毫伏) 差动的传输数据, 具有低噪声、低功耗、高可靠、节省成本和集成能力强的优点^[3].

LVDS 的工作原理如图 1 所示, 整个驱动器由两个 $3.5\ \text{mA}$ 的恒流源驱动. M1、M2、M3、M4 为

NMOS 管. 工作状态为 M1、M4 导通, M2、M3 截至, $3.5\ \text{mA}$ 的电流从下往上流过 $100\ \Omega$ 的电阻; 或者 M2、M3 导通, M1、M4 截至, $3.5\ \text{mA}$ 的电流从上往下流过 $100\ \Omega$ 的电阻. 从而在接收器的输入端产生了 $350\ \text{mV}$ 的电压, 即形成一个有效的“1”或“0”的逻辑状态. 完成了把 CMOS 信号转换为 LVDS 信号^[4].

传统的 LVDS 驱动器有三种实现方式: 电压模式、单电流源模式和双电流源模式. 双电流源模式的 LVDS 驱动器提供的恒定电流比单电流源模式更稳定, 传统的双电流源模式 LVDS 驱动器如图 1 所示^[5]. 相对于电压模式的 LVDS 驱动器, 其不需要复杂的偏置电路. 本次设计采用双电流源模式的 LVDS 驱动器.

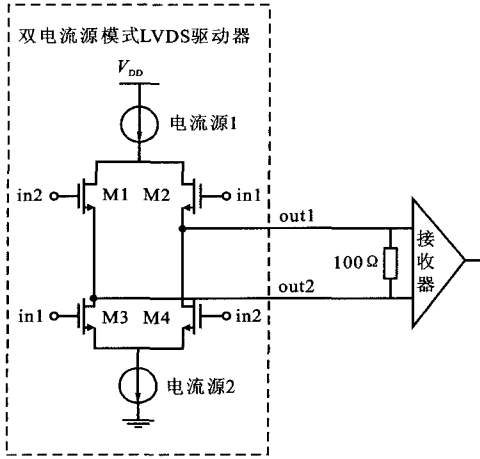


图 1 LVDS 的工作原理示意图

2 驱动器设计

由于非理想传输线和焊盘寄生效应的影响,传

统的双电流源模式的 LVDS 驱动器存在共模电压无法稳定和输出波形抖动太大的缺点. 在本次设计中采用共模反馈技术和新型的预加重技术,能够很好地解决这两个问题,使得共模电压能够稳定而且输出波形抖动大大减小. 其整体电路图如图 2 所示.

2.1 共模反馈电路

实际应用当中,由于非理想传输线和焊盘寄生效应的影响,输出共模电压会有偏移. 为了保证得到的 LVDS 信号共模电压稳定在某个固定值,电路中加上了一个共模反馈电路. 要完成共模反馈一般要完成三步:①检测输出的共模电平;②同一个参考电压 V_{ref} 比较;③将误差送回驱动器的偏置网络. 图 3 是共模反馈的原理结构图. 运用电阻分配器和放大器的 CMFB 缺点是需要电阻较大,而且对衬底产生较大的寄生电容,除此之外还消耗电路的驱动能力. 为了解决以上问题,采用了两个差分对的 CMFB.

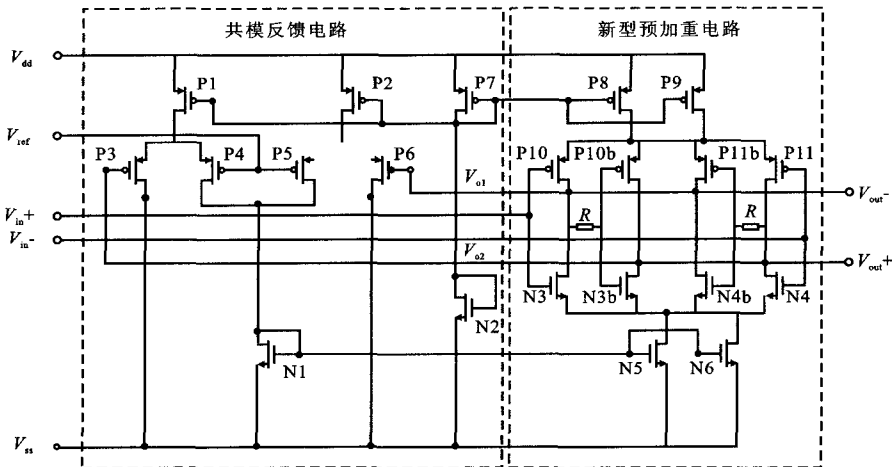


图 2 整体电路图

如图 2 所示, P3、P4、P5、P6 都是匹配的. 源耦合对 P3、P4 和 P5、P6 一起检测共模输出电压和产生一个与 V_{oc} 和 V_{ref} 的差成比例的输出. 为了说明这点,首先假设两个源耦合对的差分输入 $V_{o1}-V_{ref}$ 和 $V_{o2}-V_{ref}$ 足够小以便可以进行小信号分析,再假设这些源耦合对的共模增益为零. 在这种假设下,可以推出以下的关系式:

$$I_{dp1} = I_{dp2} = I_{dp7} \quad (1)$$

$$I_{dp4} = -\frac{I_{dp1}}{2} - g_{mp4} \frac{V_{o2} - V_{ref}}{2} \quad (2)$$

$$I_{dp5} = -\frac{I_{dp2}}{2} - g_{mp5} \frac{V_{o1} - V_{ref}}{2} \quad (3)$$

$$g_{mp4} = g_{mp5} \quad (4)$$

$$I_{dN1} = -I_{dp4} - I_{dp5} \quad (5)$$

把式(2)和式(3)代入式(5)中,且由于式(1)

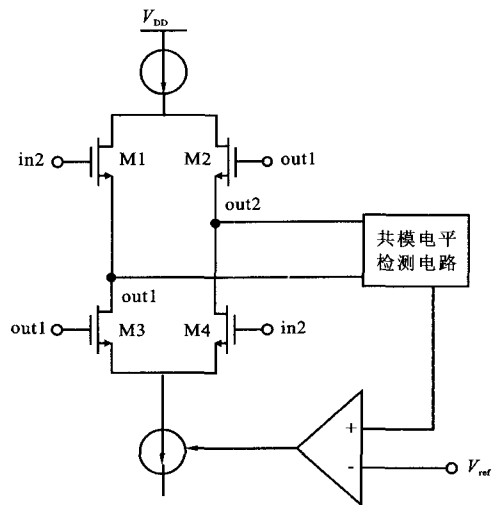


图 3 共模反馈的原理结构图

和式(4),可以得出^[6]

$$I_{dN1} = I_{dp7} + g_{mp4} \left(\frac{V_{o1} + V_{o2}}{2} - V_{ref} \right) \quad (6)$$

从式(6)可以看出共模电压大于 V_{ref} , 则 $I_{dN1} \uparrow$. 从而 $I_{dN5} \uparrow I_{dN6} \uparrow$, 使得共模电压减小, 最后等于 V_{ref} . 同理当共模电压小于 V_{ref} 时, 则 $I_{dN1} \downarrow$, 从而 $I_{dN5} \downarrow I_{dN6} \downarrow$, 使得共模电压增大, 最后等于 V_{ref} .

2.2 新型的预加重电路

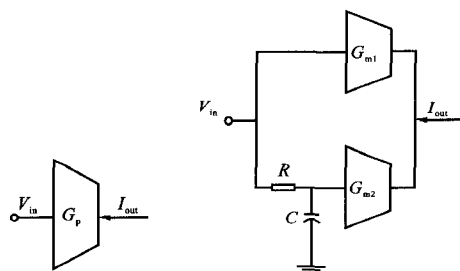
普通的 LVDS 驱动器的等效模型如图 4(a) 所示. 但是实际应用当中, 由于非理想传输线和焊盘寄生效应的影响, 输出波形会有抖动. 为了解决以上问题并且考虑到整体电路的功耗, 采用新型的预加重技术来满足设计要求.

图 4(b)介绍了一种减小抖动的方法. 整体电流是固定的 3.5 mA, 和图 4(a)相比, 电流除了流过 G_{m1} 之外, 还要流过 G_{m2} . 其等效的跨导为

$$G_m(s) = (G_{m1} + G_{m2}) \cdot \frac{1 + s \cdot R \cdot C \cdot G_{m1} / (G_{m1} + G_{m2})}{1 + s \cdot R \cdot C} \quad (7)$$

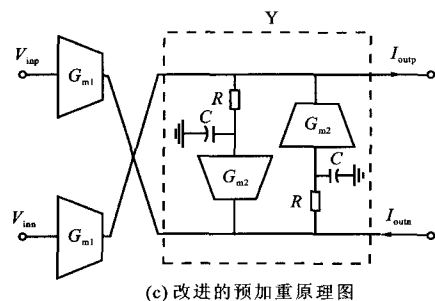
由式(7)可以看出, 有预加重功能的驱动器跨导的极点小于零, 故在频率高的时候跨导变小, 从而消除抖动. 考虑到具体实现, 对图 4(b)的模型进行改进, 如图 4(c)所示^[7], 其中

$$Y(s) = G_{m2} \cdot \frac{s \cdot C / G_{m2} - 1}{s \cdot R \cdot C + 1} \quad (8)$$



(a) 传统驱动器模型

(b) 预加重电路模型



(c) 改进的预加重原理图

图 4 新型的预加重电路设计步骤

具体的实现方式如图 2 所示, 在 P10、N4 打开所驱动的管子时, P11b、N3b 也同时打开所驱动的管子. P10 和 N4 是 G_{m1} , P11b 和 N3b 是 G_{m2} ; 所有

的输入电容构成了 C , 电阻 R 构成了 R .

3 仿真结果

为了满足实际应用, 必须考虑非理想传输线和焊盘寄生效应的影响. 通过离散模型来等效, 其等效模型如图 5 所示.

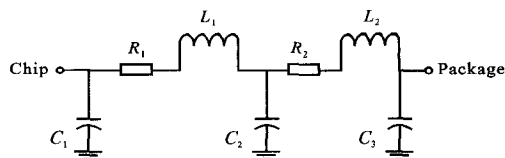


图 5 离散模型

在 $0.18 \mu\text{m}$ 的工艺库下, 通过 Cadence Spectre 对传统 LVDS 驱动器和本次设计 LVDS 驱动器进行仿真. 电源电压为 3.3 V, 输入 $0 \sim 3.3 \text{ V}$ 的差分方波. 在理想情况下, 输出共模电压为 1.3 V, 摆幅为 350 mV 的 LVDS 信号.

考虑非理想传输线和焊盘寄生效应的影响, 在不同数据率条件下, 传统双电流源 LVDS 驱动器和本次设计 LVDS 驱动器的共模电压如表 1 所示. 传统双电流源 LVDS 驱动器随着数据率的增加, 其共模电压也增加, 在 1 000 Mb/s 条件下, 共模电压达到 1.358 V, 严重偏离标准共模电压 1.3 V, 偏移达到 4.46%. 而本次设计的 LVDS 驱动器的共模电压基本上稳定在 1.3 V, 偏移小于 0.46%.

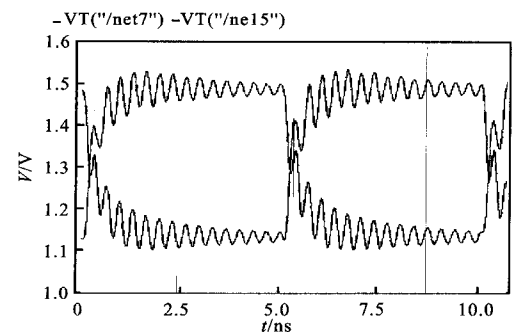
表 1 不同数据率下两种驱动器的共模电压比较

仿真数据率/ (Mb/s)	传统双电流源 LVDS 驱动器共模电压/V	本次设计 LVDS 驱动 器共模电压/V
100	1.301	1.301
200	1.308	1.301
400	1.312	1.3
500	1.328	1.304
1 000	1.358	1.294

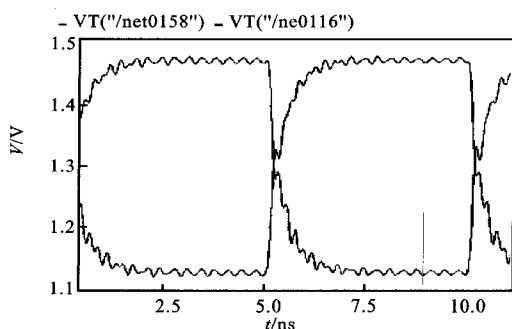
考虑非理想传输线和焊盘寄生效应的影响, 输入 200 Mb/s 的差分方波. 两种驱动器的输出波形如图 6 所示. 传统双电流源 LVDS 驱动器仿真波形如图 6(a) 所示, 抖动很大, 最大有 90 mV 以上, 很容易产生误差. 在同样条件下对本次设计 LVDS 驱动器进行仿真, 仿真波形如图 6(b) 所示, 抖动减小 70 mV, 最大不到 20 mV, 而且建立时间减小, 整体电路功耗约为 30.685 mW, 满足设计要求.

4 版图设计

在版图设计当中首先考虑金属布线宽度, 满足



(a) 传统双电流源LVDS驱动器仿真波形



(b) 本次设计LVDS驱动器仿真波形

图6 两种驱动器的输出波形

最大电流毛刺设计要求。其次考虑了电流源 MOS 管、负反馈中差放 MOS 管以及电阻的匹配问题。最后电流镜采用特殊布局方式,增加电流镜中电流的匹配性。

本次设计的 LVDS 驱动器采用 $0.18\ \mu\text{m}$ 的工艺,其整体电路版图如图 7 所示。左边为共模反馈电路的版图,右边为新型的预加重电路的版图。最终面积为 $104\ \mu\text{m} \times 90.7\ \mu\text{m}$ 。

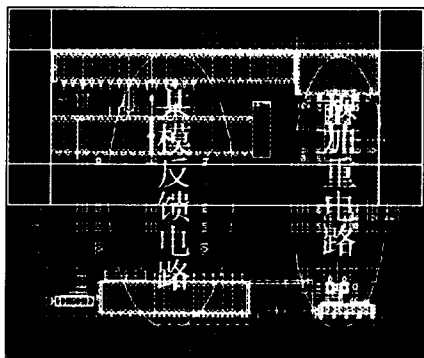


图7 LVDS驱动器版图

5 结束语

文中设计的 LVDS 驱动器解决了传统 LVDS 驱动器在实际使用当中出现的输出波形抖动太大和共模电压无法稳定的问题。新型的预加重技术通过产生一个高频极点,减小抖动、降低建立时间。除此之外,采用了两个差分对的 CMFB 可以稳定共模电压。通过仿真,本次设计的 LVDS 驱动器抖动小于 $20\ \text{mV}$,共模电压基本上稳定在 $1.3\ \text{V}$,偏移小于 0.46% 。总体而言,本文设计的具有共模反馈的低抖动 LVDS 驱动器满足设计要求,具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] 刘中唯,张涛,刘政林,等. 具有预加重功能的 LVDS 驱动电路[J]. 微电子学与计算机,2007,24(1):133-139.
- [2] 赵耀华,陆铁军,王宗民. 基于 VLSI 的高速 LVDS 接口设计[J]. 微电子学与计算机,2009,26(11):78-81.
- [3] 张家川,刘伯安. 高速多电平 LVDS 收发器设计[J]. 微电子学与计算机,2007,24(4):69-75.
- [4] 储鹏,文治平,于立新. 新型低压低功耗 LVDS 高速驱动电路设计[J]. 微计算机信息,2008,24(2):290-292.
- [5] 刘祥远,陈书明. LVDS 高速 I/O 接口单元的设计研究[J]. 计算机工程与科学,2001,23(4):52-56.
- [6] PAUL R GRAY, PAUL J HURST, STEPHEN H LEWIS, et al. Analysis and design of analog integrated circuits[M]. Beijing: Higher Education press, 2003:828-830.
- [7] Armin Tajalli, Yusuf Leblebici. A power-efficient LVDS driver circuit in $0.18\ \mu\text{m}$ CMOS technology[C]// IEEE Research in Microelectronics and Electronics Conference, PRIME. Bordeaux; Bordeaux University, 2007: 145-148.

作者简介:

李伟伟 男,(1984—),硕士研究生. 研究方向为集成电路设计。

刘辉华 男,(1976—),工程师. 研究方向为集成电路设计及微电子学。

徐小良 男,(1984—),硕士研究生. 研究方向为集成电路设计。