

一种 CMOS 图像传感器像素复位电路

周燕敏,秦会斌,胡永才

(杭州电子科技大学 新型电子器件与应用研究所,浙江 杭州 310018)

摘 要: CMOS 图像传感器中像素复位方式直接影响图像的成像质量. 以双斜率积分和软硬件结合的复位方式为基础,对现有的复位电路进行仿真、分析,发现现有复位电路存在的缺陷,针对这些缺陷,提出了一种高动态范围、抑制图像拖尾的 COMS 像素复位电路. 双斜率积分的长、短积分复位分别采用复位管漏极电压过零复位和软硬件结合的复位方式来抑制图像拖尾. 复位管采用衬底独立结构,避免弱光下,短积分复位时刻浮置扩散区电压受影响. 经过验证,该复位电路能有效地抑制图像拖尾,扩展动态范围.

关键词: CMOS 图像传感器;双斜率积分;图像拖尾;软硬件结合复位;漏极过零复位

中图分类号: TN43

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)03-0102-04

A Kind of CMOS Image Sensor Pixel Reset Circuit

ZHOU Yan-min, QIN Hui-bin, HU Yong-cai

(Institute of New Electron Device & Aplication, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The reset method of the CMOS image sensor pixels directly affect the image quality. Through analyzing and simulating of the existing reset circuit, we found the existing flaws of them. This article proposed a high dynamic range, inhibition of image lag reset circuit based on Dual-slope integration, aiming to fix those flaws. In this reset circuit, we zeroed the drain voltage of the reset tube and used the combination of hardware and software reset method respectively during the long-time and short-time integral reset period to restrain the image lag. The simulation veriflicated that the reset circuit does restrained image trailing and extended the dynamic range effectively.

Key words: CMOS image sensor; dual-slope integration; image lag; hard-soft reset; zero-drain reset

1 引言

相比 CCD 器件, CMOS 图像传感器具有易于片上集成, 可像素内部放大, 功耗低, 成本低等诸多优点, 而逐渐成为图像传感器领域的主流^[1]. 图像传感器的设计总是致力于提高图像对比度、分辨率和动态范围. 不同的复位方式会影响图像传感器性能. 文献[2]采用电荷泵技术提高像素复位电压, 实现硬复位, 文献[3]分析了硬复位对图像传感器的影响, 文献[4]分析了软复位和软硬结合的复位方式对复位噪声、图像拖尾的影响, 指出软硬件结合的复位方式能有效地抑制图像拖尾.

本文提出一种新的复位电路, 用于改善现有复

位电路存在的不足. 新的复位方式在长积分复位阶段采用复位管漏极电压过零复位. 经验证, 这种过零复位比软硬件结合的复位方式有更好的抑制图像拖尾的效果. 复位管采用衬底隔离式, 避免弱光下, 短积分复位时刻复位管源漏体二极管误导通.

在图像传感器像素阵列中, 同一行像素共用同一个复位电路. 本文设计的复位电路分为两部分, 分别用于控制复位管栅极电压和复位管漏极接入电压.

2 复位原理及现有复位电路存在的问题

2.1 图像拖尾产生原因及抑制

图像拖尾是传统复位方式下不完全复位引起的. 在传统复位方式下, 不同工作周期的像素结束电

压 V_{FD} 不一致,复位后 V_{FD} 受复位前电压影响,残留了上一帧图像信息,表现为图像拖尾.提高复位管栅极复位电位,增大 V_{GS} ,使复位管在复位栅高电平期间一直处于饱和区,能抑制这种图像拖尾.但较大的栅源压差,在增大功耗的同时容易击穿栅极绝缘层,导致器件损坏^[2].

抑制图像拖尾的常用方法是改变像素复位方式,软硬结合的复位方式由于其性能比软复位与硬复位好,因而被广泛采用.

软硬结合的复位方式将复位分为两个阶段,复位时序如图 1 所示.

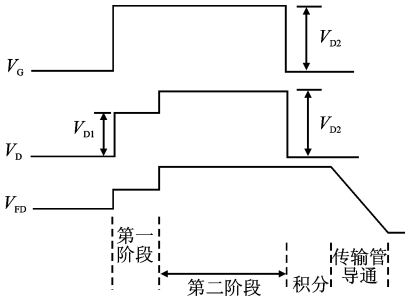


图 1 软硬件结合的复位时序

V_D 、 V_G 、 V_{FD} 分别对应复位管漏极、栅极接入电压和源级浮置扩散区电压. 第一阶段复位管进行硬件复位($V_D = V_{D1}$, $V_G = V_{D2}$, $V_D < V_G$), 复位管工作于强反型区,使 V_{FD} 复位至 V_{D1} ,为第二阶段充电提供了相同的初始电压,抑制图像拖尾^[6]. 第二阶段 $V_D = V_{D2}$,将浮置扩散区复位至 $V_{D2} - V_{TH}$.

漏极过零复位是本文新提出的一种复位方式. 这种复位方式有着很好的抑制图像拖尾效果.

2.2 双斜率积分

提高图像传感器动态范围,常用方法是采用多斜率积分. 像素的读出电压 V_{out} 可表示为

$$V_{out} = V_{rest} - SP_{in} T_{int}.$$

式中, S 为像素灵敏度, P_{in} 为入射光功率, T_{int} 为积分时间. 给定的像素电路,像素灵敏度值固定,在相同光照条件下积分时间决定了曲线的斜率. 多斜率积分通过控制积分时间,将较宽的光学动态范围压缩到有限的电压内^[5]. 在实际应用中多采用双斜率积分. 双斜率积分在一个像素工作周期内分别进行长短两次积分复位. 长积分复位将像素复位到 $V_D - V_{TH}$;短积分复位只将像素电压低于某个值的像素复位,其余像素不受影响.

2.3 现有的 CMOS 像素复位电路及存在的问题

现有的 CMOS 像素复位电路,将软硬结合的复位方式和双斜率积分整合在一起. 在长积分复位阶段,采用软硬件结合的复位方式可以抑制图像拖尾,

但抑制效果还有提高的空间;短积分复位阶段采用软硬件结合的复位方式,在弱光下(弱光下无需复位, V_{FD} 应当保持不变)引入误差:软硬件结合复位第一阶段,管漏极电压 V_{D1} 低于栅极复位电压 V_{g2} ,同时也低于 V_{FD} ,此时 MOS 管的源漏体二极管导通,产生电流 i 使应当保持不变的 V_{FD} 减小,使像素探测产生误差. NMOS 模型如图 2 所示.

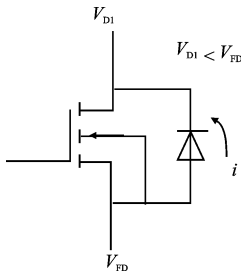


图 2 NMOS 模型

3 复位电路的设计

基于以上原理,提出一种新的 CMOS 像素复位电路. 复位电路如图 3 所示.

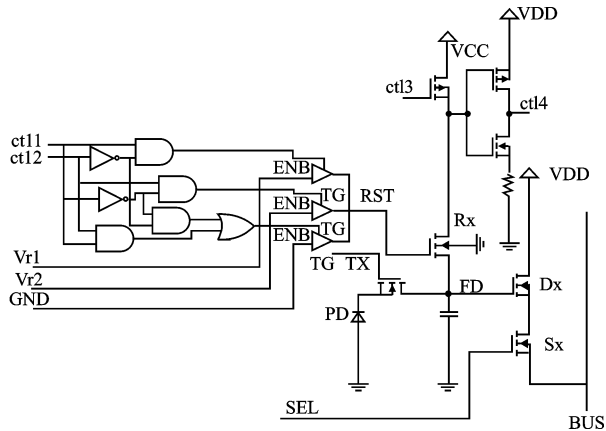


图 3 CMOS 像素与复位控制原理图

复位控制电路由复位管栅极信号控制电路和复位管漏极复位电压控制电路组成. 复位管栅极控制电路通过控制三个传输门的使能端 $ctl1$ 和 $ctl2$,使 GND 、 V_{g2} 和 V_{g1} ($GND < V_{g2} < V_{g1}$) 分时传至复位管栅极. $ctl1$ 、 $ctl2$ 和 RST 的“真值表”如表 1 所示.

表 1 传输门控制端真值表

ctl1	ctl2	RST
0	0	GND
0	1	V_{g2}
1	0	V_{g1}
1	1	GND

复位管漏极复位电压控制电路由一个CMOS反相器和一个增强型NMOS管组成。当反相器的P管导通时,控制NMOS不导通,输出电压为 V_{D1} ;当反相器的N管导通时,若NMOS不导通,此时输出电压为GND,若NMOS导通,则输出电压为 V_{D2} 。

长积分复位时,控制ctl1、ctl2,使 $V_{g1}(V_{g1} > V_{g2})$ 接入复位管栅极;复位管漏极电压由GND跳至VDD,实现漏极过零复位。

短积分复位时,控制ctl1、ctl2,使 $V_{g2}(V_{g1} > V_{g2})$

接入复位管栅极;复位管漏极接入电压为 V_{D1} 到 V_{D2} ,实现软硬结合复位,使弱光下不复位,强光下浮置扩散区复位至 V_{g2} 。

4 复位电路的仿真

根据本文时序控制的设计,采用PSPICE仿真,仿真电路如图4所示。逻辑组合电路中,增加了反相器来保持三个传输门控制信号延迟一致。

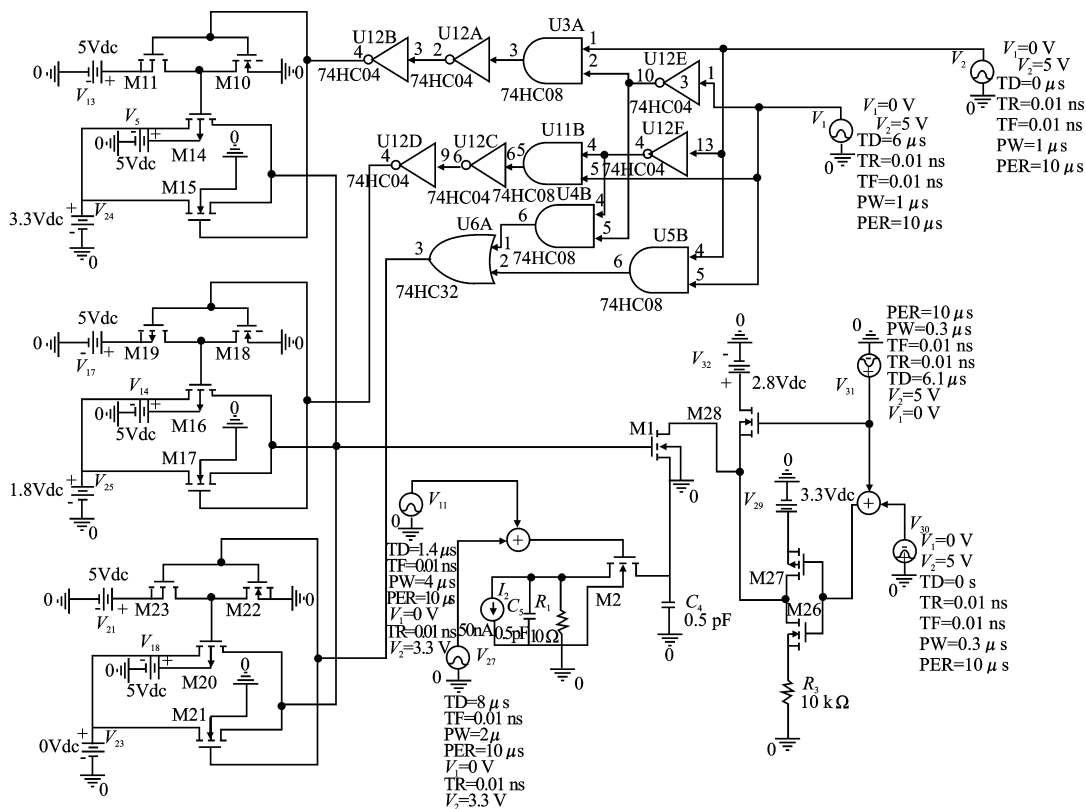


图4 CMOS像素与复位电路仿真图

4.1 长积分复位与图像拖尾的仿真

图5依次是传统复位($V_g = V_d = 3.3\text{ V}$)、漏极过零复位($V_g = 2.8\text{ V}$, V_d 从0 V跃至3.3 V)、栅极弱复位($V_g = 2.8\text{ V}$, $V_d = 3.3\text{ V}$)和软硬结合复位($V_g = 3.3\text{ V}$, V_d 从2.8 V跃至3.3 V),这四种复位方式仿真所得的图形。仿真中复位脉冲宽度为0.1 μs,控制如图5所示。

四种复位方式中,栅极弱复位的图像拖尾最严重,漏极过零复位抑制图像拖尾的效果最好。漏极过零复位在复位脉冲高电平的0.1 μs期间,前0.03 μs, V_D 为0 V,实际复位时间为0.07 μs,因此复位后电压比传统复位低。复位电压值影响像素输出摆幅,增大复位脉宽、减短过零时间都能提高过零复位后

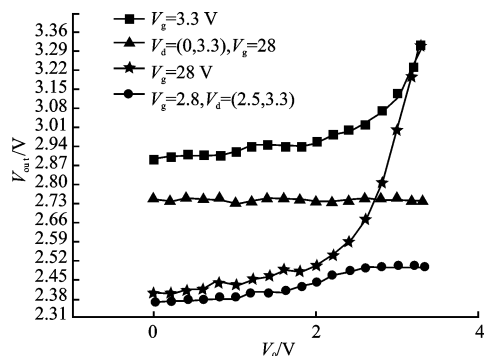
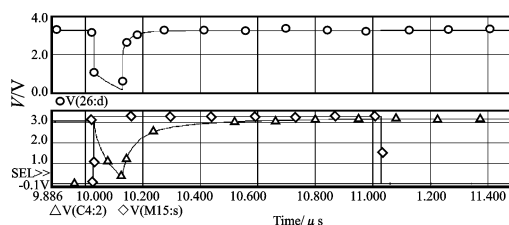
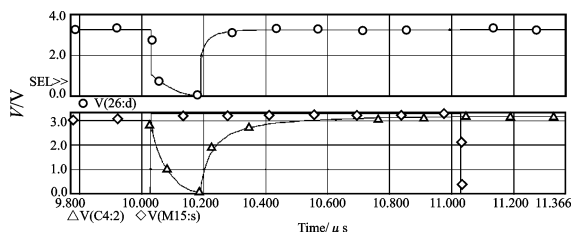


图5 四种复位方式

的电压。图6和图7是在1 μs复位脉宽下的仿真图。

图6和图7中两条曲线分别是复位管的漏极复

图6 过零时间为 0.1 μs VFD 未过零图7 过零时间为 0.16 μs VFD 临界过零

位电压 V_D (0 V 低电平, 3.3 V 高电平) 和源极电压 V_{FD} . 图 6 中过零时间太短, 漏极电位和 V_{FD} 都未降至 0 V, 存在图像拖尾. 图 7 中 V_{FD} 临界过零, 抑制图像拖尾, 复位后 V_{FD} 为 3.19 V. 用理想脉冲信号代替复位管漏极控制电压, 过零时间为 0.09 μs 时, V_{FD} 临界过零, V_{FD} 复位至 3.21 V.

设计优秀的设计复位电压控制电路, 使控制电路输出脉冲在 0.1 μs 可靠过零, 使漏极过零复位在抑制图像拖尾的同时不影响像素输出摆幅.

4.2 弱光下短积分复位的仿真

短积分复位满足弱光下不复位, 强光下复位无图像拖尾. 图 8 与图 9 分别是复位管衬底与源级相连结构和衬底独立结构在弱光下短积分复位的仿真曲线图. 采用相连结构, 弱光下由于源漏体二极管导通, 使高于栅极控制电压 V_{FD} 下降. 衬底独立结构的 NMOS, 由于不存在源漏体二极管, 弱光下 V_{FD} 几乎不受影响.

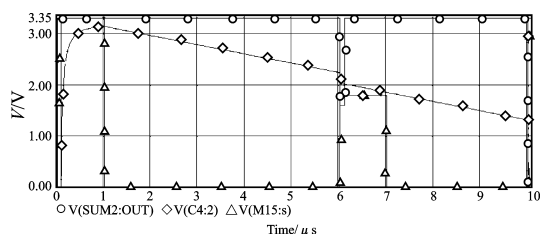


图8 衬底与源级相连 NMOS 下的仿真图

4.3 双斜率积分仿真

设置复位管漏极电压分别为 0 V、1.6 V 和 3.3 V, 长积分时刻复位管栅极电压为 3.3 V, 短积分时刻复位管栅极电压为 1.8 V. 弱光与强光下双斜率积分仿真结

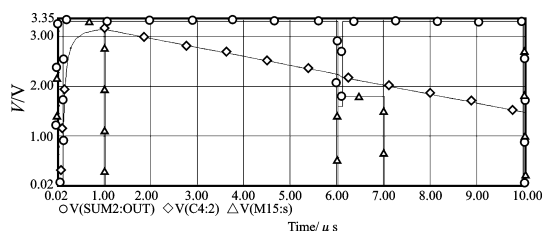


图9 衬底独立 NMOS 下的仿真图

果如图 10 和图 11 所示. 图中第一个坐标轴中的曲线是复位管漏极接入电压, 第二个坐标轴中的矩形脉冲是复位管栅极控制信号, 脉冲高度分别为 3.3 V 和 1.8 V. 第三条曲线是浮置扩散区电位 V_{FD} .

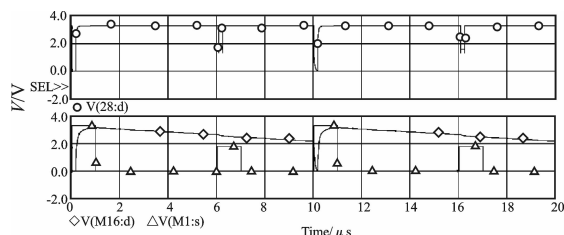


图10 弱光下双斜率积分仿真图

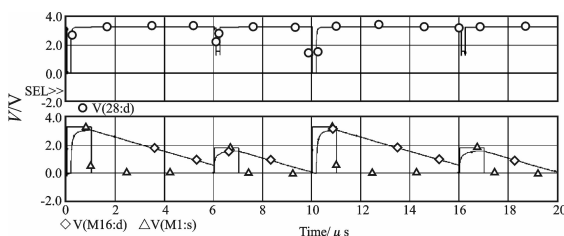


图11 强光下双斜率积分仿真图

5 结束语

本文中的像素复位电路采用双斜率积分以提高动态范围, 软硬件结合和漏极过零的复位方式以抑制图像拖尾. 为避免弱光下, 短积分复位时刻引入噪声, 复位管采用衬底独立的对称式 MOS 结构. 经验证, 本文提出的漏极过零复位方式有最好的抑制图像拖尾的效果, 采用对称式 MOS 结构也能有效减少弱光下引入误差. 通过对电路的仿真, 验证了提出的复位电路的基本功能.

参考文献:

- [1] 赵岳. 基于 CMOS 图像传感器时序电路的双斜率积分设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [2] 刘宇, 王国裕. APS CMOS 图像传感器复位电路的设计研究[J]. 半导体光电, 2005, 26(B03): 22-25.

(下转第 109 页)

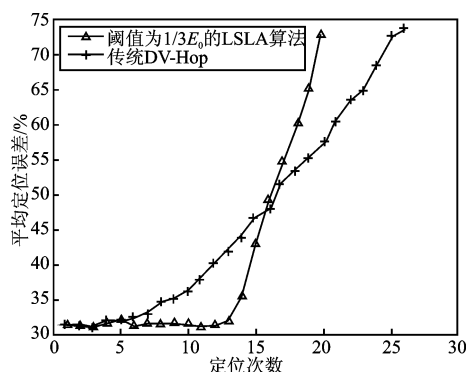


图4 传统DV-Hop算法和阈值为

$\frac{1}{3}E_0$ 的LSLA算法的平均定位误差

5 结束语

提出了一种改进的低能耗自适应定位算法 (LSLA), 可适用于流速缓慢的水下无线传感器网络. 通过 MATLAB 仿真, 在一定阈值范围内, 与传统算法相比, LSLA 算法明显的延长了锚节点存活时间和提高了节点定位精度, 超出范围后节点定位精度反而会降低. LSLA 算法可以根据实际应用中节点定位精度和定位次数的不同要求来设定不同的阈值, 适应性强.

参考文献:

- [1] 王锦程, 李德识. 一种基于水声信道的无线传感器网络路由协议[J]. 传感技术学报, 2009, 22(1): 107-110.
- [2] Rappaport T S. Wireless communications: principles and practice [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1996: 50-143.

- [3] Girod L, Estrin D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing[C] // IEEE /RSJ Int'l Conf on Intelligent Robots and Systems. Hawaii, USA: IEEE, 2001: 1312-1320.
- [4] Savvides A, Han C C, Srivastava M B. Dynamic fine grained localization in Ad Hoc sensor networks[C] // Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. N Y, USA: ACM, 2001: 166-179.
- [5] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc positioning system using AoA[C] // IEEE Int'l Conf on Computer and Communications, INFOCOM 2003, San Francisco, USA: IEEE, 2003: 1734-1743.
- [6] He Tian, Huang Chengdu, Blum B M, et al. Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C] // Proc of the 9th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking. New York, USA: ACM, 2003: 81-95.
- [7] Heidemann B J, Estrin D. GPS less low-cost outdoor localization for very small devices[J]. Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34.
- [8] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc positioning system[C] // Global Telecommunications Conference. San Antonio, TX: IEEE, 2001: 2926-2931.
- [9] 马润泽, 余志军, 刘海涛. 一种距离无关的无线传感器网络定位算法[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(11): 131-134.

作者简介:

张敏男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络研究. E-mail: zhangminljx@163.com.

(上接第105页)

- [3] Pain B, Yang G, Ortiz M, et al. Analysis and enhancement of low-light-level performance of photodiode-type CMOS active pixel imagers operated with subthreshold reset[C] // 1999 IEEE Workshop on CCDs and AIS. Nagano, Japan: IEEE, 1999.
- [4] Tian H. Noise analysis in CMOS imagesensors [D]. USA: Stanford University, 2000.
- [5] 晋孝峰, 岳素格, 刘丽艳. CMOS 图像传感器的硬件复位电路研究[J]. 电报, 2014, 42(1): 182-186.

- [6] 晋孝峰, 岳素格, 刘丽艳. 一种改善 CMOS 图像传感器性能的复位控制电路设计[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(11): 132-135.

作者简介:

周燕敏女, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为 CMOS 图像传感器应用. E-mail: yammy_zhou@foxmail.com.

秦会斌男, (1961-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为新型电子器件及 ASIC 设计、现代传感器设计及应用.