

CMOS 图像传感器内置电源模块的研究与设计

张学识, 魏廷存, 郑 然

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710072)

摘 要: 电源模块是 CMOS 图像传感器芯片的一个重要组成部分, 其性能直接影响着芯片的功耗以及所拍摄画面的质量. 文中从 CMOS 图像传感器的像素结构和列读出电路原理出发, 提出了一种低功耗、可编程控制的电源模块设计思想, 并采用 $0.18\mu\text{m}$ CMOS 工艺完成了电路设计. Hspice 仿真结果表明, 电源模块在启动 70 ms 后能够生成稳定、正确的电压, 其平均功耗小于 1mW.

关键词: CMOS 图像传感器; 电源模块; 低功耗; 可编程控制

中图分类号: TN432

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)05-0180-04

Research and Design of Built-in Power Block for CMOS Image Sensors

ZHANG Xue-shi, WEI Ting-cun, ZHENG Ran

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

Abstract: Power block is an important part of CMOS image sensors (CIS), and its properties affect the power consumption and the image qualities of CIS directly. In this paper, based on the configurations of the pixel and the column readout circuit, the design methodology of power block with low power consumption and programmable functions is proposed, and the circuit design using $0.18\mu\text{m}$ CMOS process is completed. The Hspice simulation results show that the stable and correct voltages can be generated in 70 ms when the system is on, and the average power consumption of power block is less than 1mW.

Key words: CMOS image sensors; power block; low power; programmable

1 引言

由于 CMOS 图像传感器 (CMOS Image Sensors, CIS) 具有高集成度、低成本、宽动态范围和低功耗等优点^[1], 目前已广泛应用于手机摄像头、安保监控、数码相机等领域^[2]. 内置电源模块是 CIS 芯片的一个重要组成部分, 其性能直接影响着芯片的功耗以及所拍摄画面的质量, 要求其不仅能较快的产生所需电压, 而且自身功耗较低.

文中针对自主研发的一款 CIS 芯片, 详细分析了该芯片对内置电源模块的性能指标要求. 在此基础上, 提出了一种低功耗、可编程控制的电源模块设计思想, 并采用 $0.18\mu\text{m}$ CMOS 工艺完成了电路

设计和仿真.

2 内置电源模块的性能要求

图 1 为芯片内采用的 4T 像素结构和列读出双采样电路原理图. 电路的工作过程如下:

(1) RESET 和 TG 为高, 将阱电容 (FD) 和 Pinned 光电二极管 (Pinned photodiode, PPD) 复位到复位电压 (RESET_V), 然后 TG 为低, M2 关断, 之后 M1 关断, PPD 开始曝光.

(2) 在 TG 为低时, RS 为高, M4 导通, K1 导通, 将复位电压读到 C1 上, K1 关断.

(3) 经过一定的曝光时间后, TG 为高, M2 导通, PPD 上的光电子转移到 FD 上, 然后 TG 为低,

收稿日期: 2010-06-22; **修回日期:** 2010-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60972157)

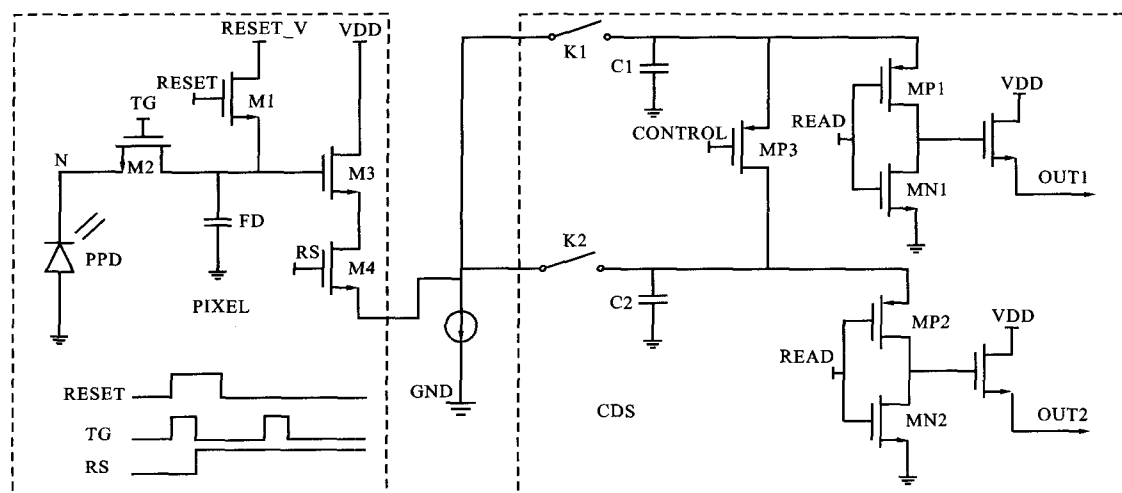


图1 芯片内采用的4T像素结构和列读出双采样电路原理图

K2 导通,将曝光电压读到 C2 上。

(4) READ 变低,MP1、MP2 导通将复位和曝光电压输出到 OUT1 和 OUT2 端,送到后续电路进行处理。

(5) 按照后续电路的要求,CDS 电路不仅要输出复位和曝光电压的差模信号,而且还要输出二者的共模信号,在 READ 电压保持低电平半个时钟周期后,CONTROL 电压也由高变低,OUT1 和 OUT2 输出一个共模电压。

至此,一个像素点的完整读出过程结束。

在像素点复位的过程中,如果 RESET_V、RESET 和 TG 电压都选取电源电压 VDD,M2 就会工作在亚阈值区,致使 PPD 不能正常复位。如果想要 M2 管工作在线性区,则 RESET_V 必须要低于 TG 一个 M2 的阈值电压,会导致整个像素点的动态范围变小。为了二者兼顾,在 RESET_V 电压为 VDD 的同时可使 $TG = VDD + V_{thM2}$ ^[3],需要在电源模块生成高于电源电压的 Vref1。工艺参数表明, V_{thM2} 的值为 $0.61 \pm 0.1V$,考虑到体效应,且在不影响 M2 的电特性和使用寿命的前提下,本设计采用的 Vref1 的电压值可在 $4 \sim 4.3V$ 范围内调节。

CDS 电路的作用是消除像素的 FPN 噪声,对 CDS 电路的基本要求是尽量不减小像素的动态范围和具有较快的读取速度。在 CDS 读取信号时 READ 电压为低,传统上这个信号的低电平是 GND,这样 C2 上的曝光电压要大于 $|V_{thMP2}|$ 才能正常读出,限制了系统的动态范围。而将 READ 的低电平接上一个负电压则可以解决上述问题,并且还可将 MN1 和 MN2 产生的漏电荷减小到最低程度。在读取共模电压时,也可将 CONTROL 信号接到负

电压上,使 MP3 的导通性更好。为此需要在电源模块生成低于地电压的负压 Vref2。 V_{thMP2} 的值为 $-0.7 \pm 0.1V$,出于和设定 Vref1 电压范围同样的考虑,本设计采用的 Vref2 的电压值可在 $-1 \sim -0.7V$ 范围内调节。

3 电源模块设计

3.1 电源模块整体结构

如图 2 所示,CMOS 图像传感器芯片的电源部分主要由内部电源调节电路、Vref1 电压产生电路、Vref2 电压产生电路和数字信号控制电路组成。各部分的主要功能如下:

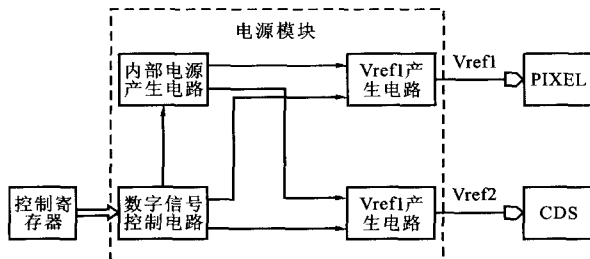


图2 电源模块整体框图

(1) 内部电源产生电路:利用一个外部输入的直流电源产生多个内部直流电源。由上文可知,要产生另外两个直流电压用来产生高压 Vref1 和负压 Vref2。

(2) Vref1 电压产生电路:利用一个升压电荷泵来产生高于电源电压的 Vref1。

(3) Vref2 电压产生电路:利用一个降压电荷泵来产生低于地电压的负压 Vref2。

(4) 数字信号控制电路:将数字部分供给的控制和时钟信号转换为电源模块所需要的控制和时钟信号。

3.2 内部电源产生电路

由于 CIS 应用的场合多采用电池供电, 外部电压不稳定, 必须用基准电压源得到稳定的工作电压. 由于带隙基准电压源能够实现高电源抑制比 (PSRR)、低温度系数且精度较高^[4-5], 如图 3 所示, 本设计采用带隙基准电路得到基准电压 V_{BGR} (1.25V). 通过 $V1(V2)$ 多值电压调整电路^[6]对基准电压调整后产生 $V1(V2)$, 作为产生 $Vref1(Vref2)$ 的参考电压. 如图 4 所示, 其中 $R2$ 是由寄存器信号控制的可变电阻. 本设计中采用的带隙基准电压源结构如图 5 所示.

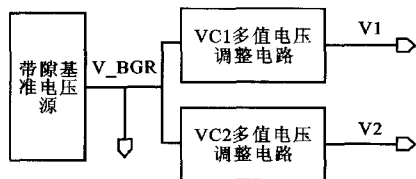


图 3 内部电源产生电路

沟道调制效应的存在使流过 $M1$ 、 $M2$ 管的电流略有不同, 造成 V_{BGR} 有一定的误差, 若直接采用电源电压 VDD 作为基准电压生成电路的电源,

则误差大小与电源电压 VDD 有关, 从而使电路的 PSRR 下降. 文中使用了如图 5 中所示的电源噪声抑制电路, 使基准电压生成电路工作在内部校准电压 V_{IN} 下, 图 5 中所有的 PMOS 的衬底电压均为 V_{IN} . 1、2 两点的电压差经过由 $M9 \sim M12$ 组成的运放放大, 调节 $M14$ 管的电流, 使 V_{IN} 趋于稳定. 从而强制 $M1$ 、 $M2$ 的漏极点具有相同电位, 以期获得较好的 PSRR. $M5$ 是为了修正工艺带来的温度系数误差而采用的宽长比可微调的 MOS 管. I_{dc} 为对电源电压不敏感的电流源, 其作用是降低电源噪声抑制电路的电流, 使之不会随着电源电压的升高而线性的升高, 从而降低电路功耗.

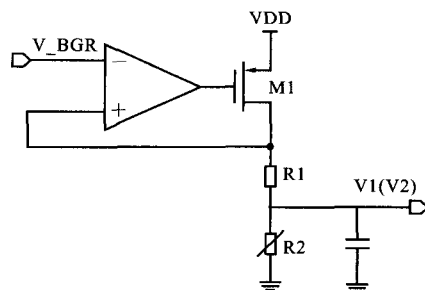


图 4 $V1(V2)$ 多值电压调整电路

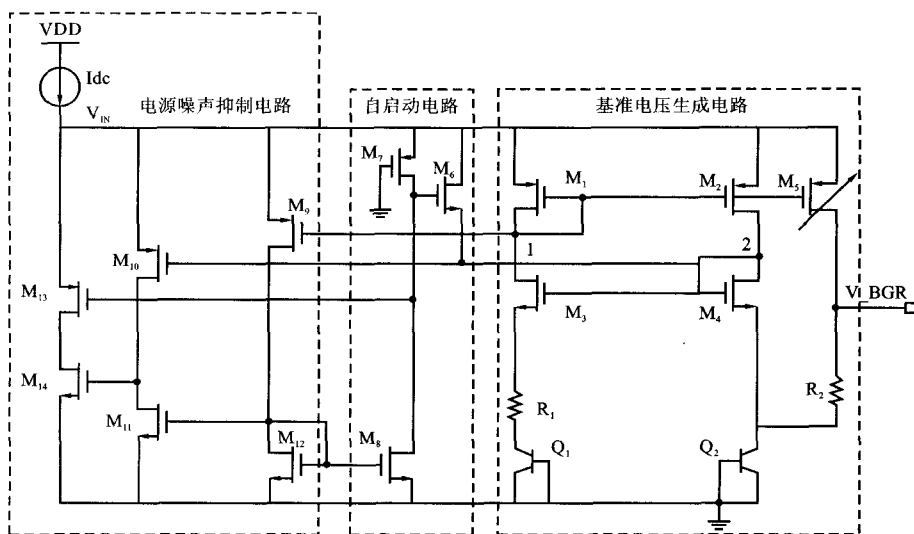


图 5 带隙基准电压源结构

3.3 $Vref1$ 和 $Vref2$ 电压产生电路

为了产生高于电源电压的 $Vref1$ 和低于地电压的 $Vref2$, 需要引入电荷泵. 但是由于单纯的电荷泵结构得到的电压不易控制而且纹波较大, 本设计在电荷泵的输出端添加了稳压单元^[6], 使用上文中提到的 $V1$ 和 $V2$ 来控制 $Vref1$ 和 $Vref2$ 的值. 同时为了隔离电源模块对芯片中其它电路的影响, 本设计使用芯片的 I/O 电压 $DOVDD$ (电源) 和 $DOGND$ (地) 来作为电荷泵的输入电压.

如图 6 所示, $Vref1$ 在升压 Dickson 电荷泵的作用下不断升高, 同时通过二极管串联电路将 $1/4$ 的 $Vref1$ 值反馈给比较器, 比较器通过调节 $M1$ 上的电流, 使 $Vref1$ 稳定在 4 倍 $V1$ 的电位.

如图 7 所示, 降压 Dickson 电荷泵使 $Vref2$ 持续降低, V_P 反馈电压 $Vref2$ 的大小. 比较器通过调节 $M2$ 支路上的电流, 使 $Vref2$ 稳定到一个固定电位. 其电位值与 $V2$ 的关系为: $Vref2 = 6 \times V2 - 5 \times V_{BGR}$.

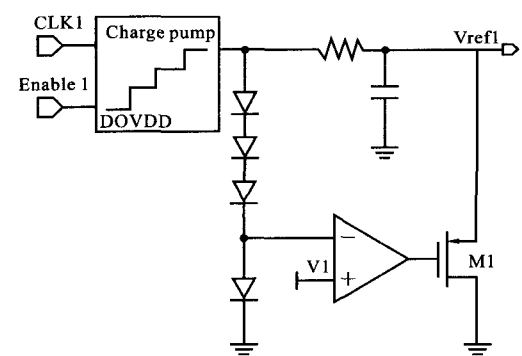


图 6 Vref1 电压产生电路

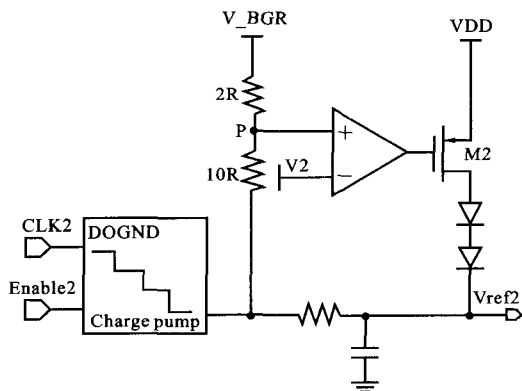
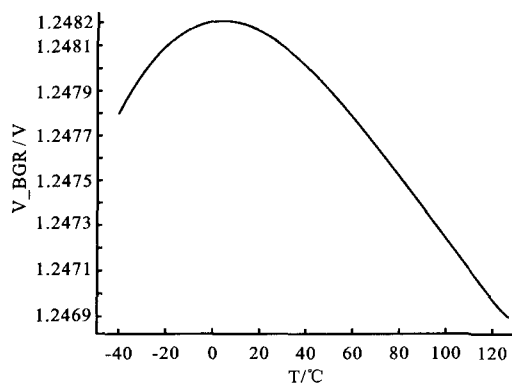


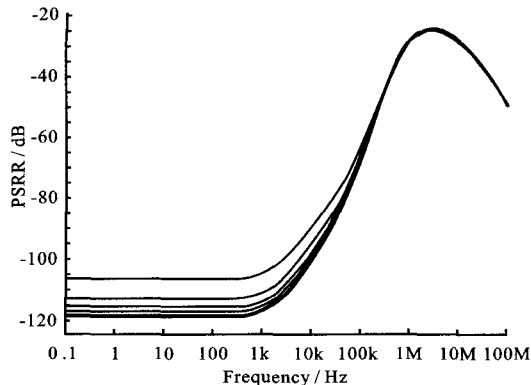
图 7 Vref2 电压产生电路

4 电路仿真结果

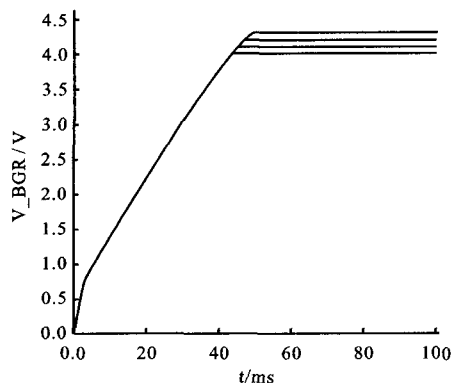
依据上述电源模块的结构,文中采用0.18 μm COMS 工艺进行电路设计,用 Hspice 进行仿真的结果如图 8 所示. 仿真结果(a)为带隙基准电压源的温漂曲线,温度在 $-40\sim 127^{\circ}\text{C}$ 范围内变化,其温漂系数为 7.8 ppm/ $^{\circ}\text{C}$,基准电压值在室温条件下(27°C)为 1.248V;(b)为基准电压源的交流 PSRR 曲线,仿真时电源电压 VDD 在 3~3.6V 范围内扫描 10 条曲线,结果显示本设计实现的带隙基准电压源的交流 PSRR 在低频时可达到 -100dB 以下;(c) 为 Vref1 电压生成电路的仿真结果,可以看出,在电源模块启动后 60ms 内可以生成稳定的 Vref1,其电压值在 4~4.3V 范围内根据 V1 的不同有 4 个可选值;(d) 为 Vref2 电压生成电路的仿真结果,可以看出,在电源模块启动后 70ms 内可以生成稳定的 Vref2,其电压值在 $-1\sim -0.7\text{V}$ 范围内根据 V2 的不同有 4 个可选值. 并且功耗数据显示,整个电源模块的平均功耗小于 1mW.



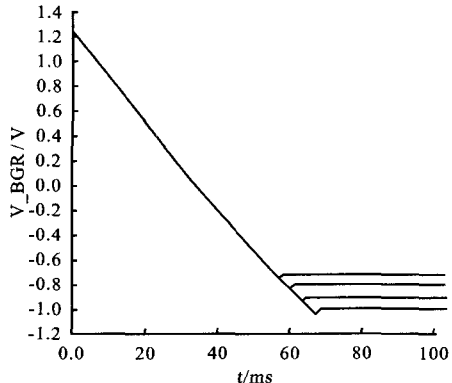
(a) 带基准电压温漂曲线



(b) 基准电压交流PSRR曲线



(c) Vref1 生成电路仿真结果



(d) Vref2 生成电路仿真结果

图 8 仿真结果 (下转第 188 页)

而提高了正确配准率。

表 3 实验 3 两种算法实验结果的对比

	原算法描述子	改进后描述子
匹配点数	312	242
正确率	64%	78%
匹配时间(秒)	2.87	1.32

5 结束语

改进的 SIFT 算法通过构造 60 维方形邻域描述子,降低了描述子的维数,并且增加了邻域像素统计范围,增强了关键点的邻域信息.通过实验表明,方形邻域描述子匹配的时间是原算法的 30%~60%.当图像特征比较复杂,有多个较小的局部相似区域时,此描述子较原算法有更好的独特性,较原算法减少了误匹配数,提高了配准的精度。

参考文献:

- [1] Lisa Gottesfeld Brown. A survey of image registration techniques[J]. ACM Computing Surveys. 1992, 24(4): 325-376.

- [2] Barbara Zitova, Jan Flusser. Image registration methods: a survey[J]. Image and Vision Computing 2003: 977-100.
- [3] 冯宇平,戴明. 一种基于角点特征的图像拼接融合算法[J]. 微电子与计算机, 2009, 26(7): 21-28.
- [4] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [5] 张伟,刘伟,普杰信. 一种基于 SIFT 和区域选择的图像拼接方法[J]. 微电子与计算机 2010, 27(6): 205-207.
- [6] 张良,王海丽,吴仁彪. 基于改进局部不变特征的兴趣点匹配[J]. 电子与信息学报, 2007(3): 2621-2625.
- [7] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630.

作者简介:

王田甲 女, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为数字图像处理.

刘国荣 男, (1957-), 副教授. 研究方向为人工智能与数理逻辑.

(上接第 183 页)

5 结束语

文中从 CMOS 图像传感器像素点和双采样电路的工作原理出发,首先分析了提升芯片性能的电压需求,然后提出了电源模块的设计思想,详细介绍了内部电源、Vref1 和 Vref2 电压的产生方法及其关键的技术.最后给出了电源模块的仿真结果,验证了设计的正确性。

参考文献:

- [1] Abbas El Gamal. CMOS Image Sensors[J]. IEEE Circuits&Devices Magazine, 2005.
- [2] 谈新权,何永泰. CMOS 图像传感器及其应用[J]. 激光与红外, 2001, 31(2): 76-77.
- [3] 余有芳. 一种基于电荷泵的 CMOS 图像传感器[J]. 现代电子技术, 2009(18): 185-187.

- [4] 张科,冯全源. 一种带软启动电路的带隙基准电压源的实现[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(12): 179-181.
- [5] 肖海鹏,马卓,张民选,等. 一种低成本高精度 CMOS 基准电压源设计[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(5): 121-124.
- [6] 吕丽峰. TFT-LCD 驱动芯片内置电荷泵研究与设计[D]. 西安: 西北工业大学, 2008.

作者简介:

张学识 男, (1985-), 硕士研究生. 研究方向为混合信号集成电路设计.

魏廷存 男, (1960-), 博士, 教授. 研究方向为混合信号 VLSI 设计和平板显示驱动芯片技术等.

郑 然 男, (1981-), 博士研究生, 讲师. 研究方向为混合信号集成电路设计.