

文章编号: 1001-5078 (2006) 10-0953-04

基于测辐射热计型非制冷 IRFPA 读出电路设计

罗凤武, 蒋亚东, 吴志明

(电子科技大学电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

摘要:对基于测辐射热计型热敏电阻的非制冷红外焦平面阵列 (RFPA), 在读出电路 (ROIC) 中采用积分放大技术能有效提高探测器的信噪比。给出了 160×128 的 ROIC 设计方案, 重点介绍了该方案中的偏置结构及积分放大器设计。基于上华半导体 $0.6\mu\text{m}$ CMOS 工艺仿真结果表明, 该方案能很好地适应大阵列 (如 160×128 和 320×240) 的 CMOS 读出电路。

关键词:非制冷 RFPA; 读出电路; 噪声; 信噪比; 积分放大器

中图分类号: TN376; TN492 **文献标识码:** A

Design of Readout Integrated Circuits of Un-cooled IRFPA Based on Sensitive Resistance

LUO Feng-wu, JIANG Ya-dong, WU Zhiming

(Key Lab of Electronic Film and Integrated Device, University of Electronic
Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: To un-cooled infrared focal plane arrays (un-cooled RFPA) based on sensitive resistance, it has been proved that integral technique can improve the signal-to-noise of the detector in the CMOS readout integrated circuits. The design scheme of ROIC with an array of 160×128 has been presented, the circuit with temperature compensation and design of the integrator have been introduced. The simulation result of the control timing of the resistance-selecting and integrator are given at last. The results show the scheme can be applied to CMOS ROIC with a larger array such as 160×128 and 320×240 .

Key words: un-cooled RFPA; ROIC; noise; signal-to-noise; integrated amplifier

1 引言

红外焦平面阵列是红外成像系统的核心部件, 它分为制冷型和非制冷型两大类。非制冷红外探测器可工作在室温条件下 (无需低温杜瓦瓶), 与制冷型相比有着成本低、功耗体积小的明显优势, 从而使红外热摄像技术从长期的主要运用于军事领域扩展到诸如工业监控测温、执法缉毒、医疗卫生、遥感、海上救援、车船夜间驾驶等广阔的民用领域^[1-2], 它的巨大市场价值将会逐渐显现。

现代非制冷 RFPA 器件, 一般都是由焦平面阵列和 ROIC 集成在一起的单一型结构^[2], 不同的焦平面阵列其读出电路结构也不尽相同。本文对基于热敏电阻的非制冷 RFPA 的噪声特性进行了分析

与计算, 推导并证明了积分放大技术能有效提高探测器的信噪比。给出了 160×128 的 ROIC 设计方案, 采用 4 列热敏电阻共用一个积分器 (即 32 路积分器同时工作) 的偏置结构, 利用带温度补偿的单元偏置电路来消除热敏电阻上电时的电热效应, 并根据 RFPA 参数确定了积分放大器参数, 针对性地设计了一种高增益、低噪声、低功耗集成运算放大器。基于上华半导体 (无锡) $0.6\mu\text{m}$ CMOS 工艺的仿真结果表明, 该方案能很好地适应大阵列 (如 160×128 和 320×240) 的 CMOS 读出电路。

作者简介: 罗凤武 (1978 -), 女, 助教, 硕士, 主要从事大规模集成电路设计和红外热像仪图像处理等方面的研究工作。E-mail: luofengwu@126.com

收稿日期: 2006-04-29

2 信噪比提高技术

基于热敏电阻的非制冷 IRFPA 器件性能提高主要受噪声制约,其噪声主要有两类:约翰逊噪声和 $1/f$ 噪声^[3]。在 $f_1 - f_2$ 的测量带宽中,这两种噪声功率合并产生总的平均平方电压噪声,如公式 (1) 所示:

$$\overline{V^2} = 4kTR(f_2 - f_1) + V^2 K \ln \frac{f_2}{f_1} \quad (1)$$

其中,参数 k 为玻尔兹曼常数; R 为无噪声电阻; T 为热敏电阻温度; V 为施加到 R 上的偏置电压; K 称 $1/f$ 噪声参数, K 强烈地依赖于特定的电阻-金属、淀积技术、尺寸和电接触等。

若探测电阻为 $25k$, 施加的偏置电压为 $5V$, $K = 10^{-13}$, $T = 300K$ 的探测元,在 $0.001 \sim 10kHz$ 带宽中,根据计算总的噪声值分布在 $2.32 \times 10^{-6}V$ 左右。这样我们可以估算,若最小分辨率时的探测信号为 $250\mu V$,理论上探测元的信噪比为:

$$SNR = 20 \lg \left(\frac{V_{signal}}{V_{noise}} \right) = 40.65 \text{ dB} \quad (2)$$

由上面的计算结果可以看出,即使在理想情况下,探测器的信噪比也是比较低的。为了提高信噪比,我们可以采用累积的方式。数学上可以使用积分来达到这个目的。

由于噪声是高斯随机过程,我们可以把读出的包含噪声的数据 D 拟合成正态随机过程 X 。在以上的假设情况下,我们以 0.99 的概率认为:

$$V_{signal} - V_{noise} < D < V_{signal} + V_{noise} \quad (3)$$

再按照上述最小分辨率时的假设,于是得到: $X \sim N[250\mu V, (0.9\mu V)^2]$ 。

对于给定的实时随机过程 $X(t)$,积分定义为:

$$s = \int_a^b X(t) dt \quad (4)$$

利用积分可以写成和的极限形式,并利用均值运算的线性特性,有:

$$E(s) = \int_a^b E[X(t)] dt = \int_a^b (t) dt \quad (5)$$

公式 (5) 中, $E[X(t)] = (t)$ 。

另外,

$$E(s^2) = \int_a^b \int_a^b E[X(t_1)X(t_2)] dt_1 dt_2 = \int_a^b \int_a^b R(t_1, t_2) dt_1 dt_2 \quad (6)$$

相应的方差为:

$$s^2 = \int_a^b \int_a^b [R(t_1, t_2) dt_1 dt_2 - (t_1)(t_2)] dt_1 dt_2 \quad (7)$$

若取积分增益为 10000 ,则积分后的信号 $Y \sim N[2.5V, (9 \times 10^{-5}V)^2]$,此时的信噪比为:

$$SNR = 20 \lg \left(\frac{V_{signal}}{V_{noise}} \right) = 80.65 \text{ dB} \quad (8)$$

由公式 (8) 可以看出,通过积分器积分后,探测信号的信噪比大大提高,能满足后续信号处理的要求。表明,对基于热敏电阻的 IRFPA,在读出电路中采用积分放大技术能有效提高信噪比,积分放大器的设计是读出电路的关键设计。

3 读出电路设计

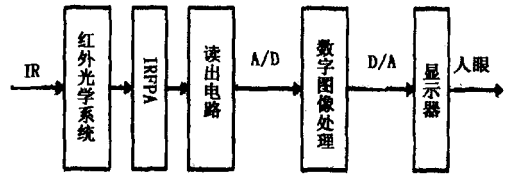


图 1 非制冷红外热像仪系统框图

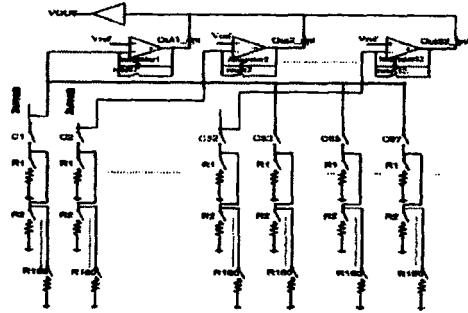


图 2 ROIC 原理图

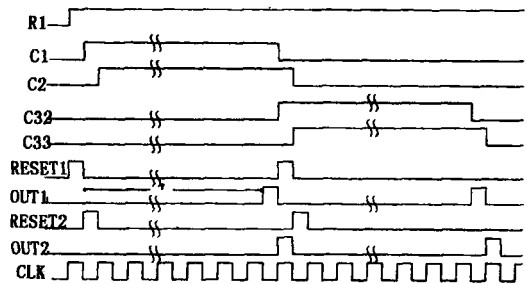


图 3 列选通时序图

非制冷红外热像仪的系统框图如图 1 所示。数字图像处理部分的主要功能是对焦平面的非均匀性进行校正^[5]。ROIC 的主要功能是将焦平面的热敏电阻的阻值转换成适当的电压或电流信号,ROIC 原理图如图 2 所示,它的关键部件是单元偏置电路和积分器。对 160×128 的焦平面阵列,采用 4 列热敏电阻共用一个积分器的偏置结构,来保证可靠的积分时间和节省 ROIC 面积,即第 1、33、65、97 列电阻的探测信号送给第 1 个积分器,第 2、34、66、98 列电阻的探测信号送给第 2 个积分器,依此类推,128 列

热敏电阻一共对应 32 个积分器, 32 路积分器的输出电压信号通过一个多路转换器转换成一路串行输出信号, 然后再送给后续信号处理部分的 A/D 转换器。列选通时序如图 3 所示, 其中, R_1 为第 1 行的行选信号, $C1$ 为第 1 列的列选信号, RESET1 为第 1 个积分器的复位控制信号。

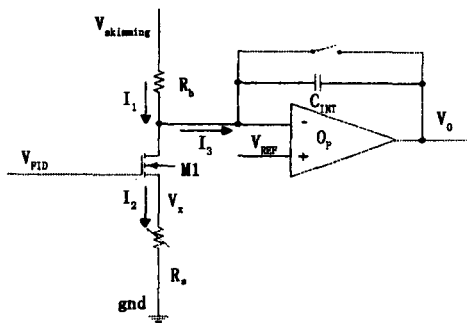


图 4 单元偏置电路

3.1 带温度补偿的单元偏置电路

读出电路常见的偏置有电压偏置、电流偏置和分压偏置。由于是对基于热敏电阻的非制冷 RFLPA, 热敏电阻在接受目标辐射使其温度升高的同时, 内部偏置电流的焦耳热, 即电热效应也会使其温度升高^[4], 二者的温升都会导致其电阻的变化, 后者的温升有时甚至可能超过前者, 因此, 偏置电路还需要消除电热效应的影响。简单的电流或电压偏置方式都难以实现, 一种带温度补偿的单元偏置电路见图 4, 图中 V_{FD} 、 V_{SKMMNG} 为外加可调偏置电压, V_{FD} 通过 NMOS 管为 R_s 提供一个较为恒定的偏置电压。 R_s 为热敏电阻, R_b 为温度补偿电阻, 二者的温度电阻系数 (TCR) 和室温电阻值都相同, 但 R_b 不接受红外辐射。显然, 可通过调节 V_{FD} 和 V_{SKMMNG} , 使没有红外辐射时, 不管是否存在电热效应, 电路输出均为零。

3.2 积分放大器设计

本设计参考的非制冷红外焦平面阵列的主要参数如表 1 所示, 据此我们确定了读出电路中积分器的设计目标见表 2。由于焦平面热敏电阻固有的 5% 的非均匀性, 我们将积分输入电流范围定为 $-4 \sim +4\mu A$, 积分输出电平定为 $2 \sim 4V$ 。对基于热敏电阻的非致冷红外焦平面阵列读出电路, 积分时间的选取是非常重要的。长的积分时间虽然有利于提高信号的信噪比, 但需要大的积分电容来保证输出信号不会饱和, 这样会使 ROIC 面积增大不少, 从而增加读出电路成本。因此我们对积分时间和积分电容进行了折中, 积分时间定为 $30\mu s$, 这样既能有效提取信号, 又不至于使积分电容过大。由于采用

了 4 列热敏电阻共用一个积分器, 所以要求每路积分器能在 $2\mu s$ 内有效复位。

表 1 焦平面阵列主要参数

阵列尺寸	像元尺寸	像元室温电阻	温度电阻系数 TCR	噪声等效温差 NETD	帧频	额定工作温度	目标温度范围
160 x 128	50 μm x 50 μm	25k	-0.02/K	100mk	30Hz	25	-180 ~ +250

表 2 积分器设计参数

输入电流	输出电平	积分时间	积分电容	复位时间
-4 ~ +4 μA	2 ~ 4V	30 μs	120pF	2 μs

表 3 运算放大器仿真数据结果

增益 (dB)	83.7
单位增益带宽 (MHz)	86
相位裕度	71°
共模抑制比	131.7
输出电压摆幅 (V)	0.5 ~ 4.5
摆率 (V/ μs)	88
建立时间 (ns)	50
正电源抑制比 (dB)	100
负电源抑制比 (dB)	84.3
功耗 (mW)	9

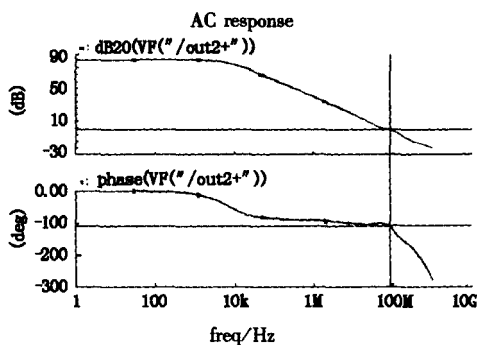


图 5 运算放大器的增益及相位图

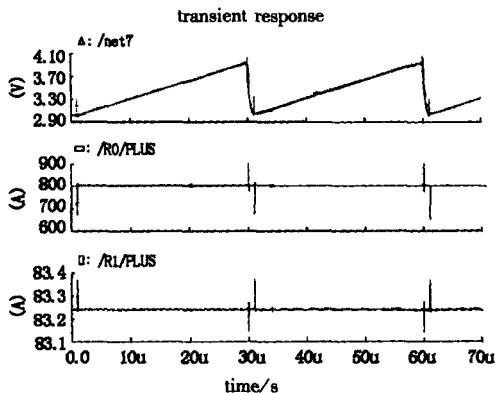


图 6 积分器仿真结果图

读出电路中可靠积分器的关键在于运算放大器的设计。我们精心设计了一个两级低噪声的运算放

大器,基于上华半导体(无锡)0.6 μm CMOS工艺的仿真数据结果见表 3,由表 3 可看出,该放大器具有高增益、低噪声、低功耗的特点,能够满足高性能的积分器的需要。运算放大器的增益及相位见图 5。图 6 为积分放大电路的仿真结果,仿真结果表明,积分器的输出电压较好地对 R_s 和 R_b 的电流差进行了积分,具有良好的线性度,同时该积分器能在 1 μs 内有效复位,满足 2 μs 的设计目标。

4 结束语

对 160 \times 128 的焦平面阵列,4 列热敏电阻共用一个积分器的结构既保证了可靠的积分时间,又不至于使 ROIC 面积过大,带温度补偿的偏置电路能有效消除热敏电阻上电时的电热效应。对 ROIC 的关键部件积分器进行了精心设计,基于上华半导体(无锡)0.6 μm CMOS 工艺仿真结果表明,此读出电路能很好地适应 160 \times 128 的非制冷 RFPA 要求。对更大规模(320 \times 240 以上)的焦平面阵列,只需

改变积分器的数目和分组,适当调整积分时间和积分电容即可实现。

参考文献:

- [1] 孙志君. 红外焦平面阵列技术的发展现状与趋势 [J]. 红外技术与器件, 2002, 3.
- [2] A M Filachev, V P Ponomarenko, I I Taubkin, et al. Infrared focal plane arrays: state of the art and development trends [A]. Proceedings of SPIE, 2003, 5126: 52 - 85.
- [3] Margaret Kohin. Performance Limits of Uncooled VO_x Microbolometer Focal Plane Arrays [A]. Proc. of SPIE, 2004, 5406: 447 - 453.
- [4] X Gu, G Karunasiri, J Yu, et al. On-chip compensation of the self-heating effects in microbolometer infrared detector arrays [J]. Sensors & Actuators A, 1998, 69: 93.
- [5] 陈宝国, 郑志伟, 黄土科. 利用 FPGA 实现红外焦平面器件的非均匀性校正 [J]. 红外与激光工程, 2000, 29 (4): 55 - 57.

现代科技 光电信息 内容丰富 开卷有益

敬请订阅《激光与红外》杂志(月刊)

本刊是中国光学光电子行业协会、电子工业激光与红外专业情报网、中国电子学会量子电子学与光电子学分会的联合刊物。国内外公开发行。报道以激光与红外为重点的光电子技术及应用领域的科技进展、新技术成果等。主要栏目有:综述与评论、激光技术、红外技术、光电器件、光电材料、光学薄膜、光纤技术、光存储技术、全息技术、显示技术、市场动态、信息集锦、企业介绍、行业概况等。

2007 年本刊为大 16 开本,月刊,每期 8 元,全年 12 期 96 元。

主管单位:信息产业部

主办单位:华北光电技术研究所

订阅办法:全国各地邮局订阅 邮发代号:2 - 312。

也可向本刊编辑部直接订阅。

开户行:工商银行望京支行营业部

户名:《激光与红外》杂志社

账号:0200003509089113201

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

通信地址:北京市 8511 信箱激光与红外编辑部 邮编:100015

电话:010 - 64362211 - 310 传真:010 - 64387667 E-mail: jgyhw@ncrcea.com.cn