

电阻阵列红外景象产生器工作模式的研究

陈世军

(中国科学院上海技术物理研究所,上海 200083)

摘要:阐述了扫描模式和快照模式的工作原理,研制出一种快照模式的电阻阵列动态红外景象产生器单元电路结构,使得所有微辐射体的显示同时被更新,得到高帧频下的稳定图像输出,有利于与测试系统的同步。采用 $0.6\ \mu\text{m}$ 工艺模型参数,利用 spectra 仿真软件对设计的电路进行仿真,并完成单元电路流片和测试。测试结果验证了电路设计的可行性,为下一步快照模式的大规模电阻阵列器件的研制打下了坚实的基础。

关键词:快照模式;扫描模式;红外景象产生器;电阻阵列

中图分类号:TN43 **文献标识码:**A

Research on operating mode in resistor array DIRSP

CHEN Shi-jun

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The operating principle of raster and snapshot was reviewed. A circuit for snapshot operation was designed, which enables all pixels simultaneous update, maximizing the time during which the displayed image is stable, even at the highest frame rate, and greatly simplifying the task of synchronizing the scene simulator to the unit-under-test. Spectra simulation with $0.6\ \mu\text{m}$ standard CMOS process model are made, the chip was produced and tested. Generally, the above research shows that this kind of circuit is feasible, and builds substance foundations for circuit design for large-scale resistor array DIRSP in the future.

Key words: snapshot; raster; infrared scene projector; resistor array

1 引言

当前大多数的成像探测器(线列或焦平面),其积分动作是同时发生的(读出是采用扫描方式),因此在 DIRSP 工作时,特别是探测器的频率较高,积分时间较短时,应该对 DIRSP 和探测器进行同步。在同步时为防止探测器采样到不稳定区域,应该保证给探测器留下足够的稳定时间采样^[1-2]。

电阻阵列动态红外景象产生器的工作模式分扫描模式和快照模式,扫描模式电路简单,器件工作帧频受移位寄存器总的扫描时间和微辐射体上升时间的影响,为了得到完整和稳定的热图像,必须与被测试红外焦平面的测试系统精确同步,在高帧频下,这点更难实现。为了解决高帧频下 DIRSP 与测试系统同步问题,快照模式的工作方式使所有单元同时

被驱动,同时达到稳定的温度,保证焦平面器件能看到完整稳定的热图像,而且快照模式可以进一步提高器件的工作帧频^[3]。

本文对扫描模式和快照模式的工作原理进行了讨论,并设计了一种既能工作于扫描模式,又能工作于快照模式的电阻阵列动态红外景象产生器单元电路结构,完成了单元电路的流片,并进行了电性能和功能性测试。

2 电阻阵列工作原理

图1为电阻阵列器件结构图。主体部分为构成

基金项目:航空科学基金项目(No. 20060112114)资助。

作者简介:陈世军(1967-),女,研究方向为半导体器件测试及集成电路设计。E-mail: susan1967@citiz.net

收稿日期:2009-10-15

阵列的像素单元,每个像素单元含有单元驱动电路和电阻形式的微辐射体;单元之间和阵列外围还布置了控制总线以及选址电路,用于对像素单元的选通控制。微辐射体是器件的核心部分,其实就是一种能量转换机构,其功能是将某种其他形式的能量转换为所需要的红外辐射能量。电阻阵列器件采用微型桥式电阻作为微辐射体,这种微型电阻被设计成为与周围环境基本绝热的结构。

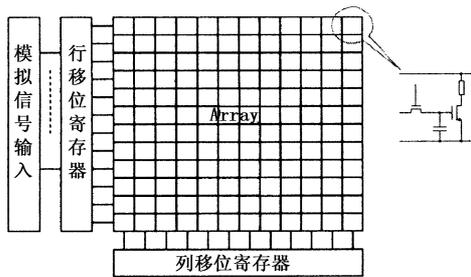


图1 电阻阵列器件结构示意图

3 扫描模式

3.1 工作原理

扫描模式的工作原理为移位寄存器先选通第一行,第一行中的微辐射体依次被选通,当选通到某单元时,相应的控制电压通过传输门驱动微辐射体,直到第一行微辐射体全部都被驱动过之后,移位寄存器再选通下一行,重复刚才的动作,直到扫描完所有微辐射体,如此循环往复,扫描完所有微辐射体的时间,也就是移位寄存器总的扫描时间。

图2是低帧频工作情况下,扫描模式的时序特征,横向为时间,纵向表示 m 行微辐射体。一帧时间内每一行的时序特征包括三部分:微辐射体被驱动时间 T_1 ,微辐射体热响应时间 T_2 以及整行微辐射体图像稳定时间 T_3 。由于帧频低,因此有一段时间,整个图像都是稳定的,如图2所示的 T_3 所示,在 T_3 时间内,红外焦平面器件开始积分,可以保证红外探测器能看到完整稳定的热图像^[3]。

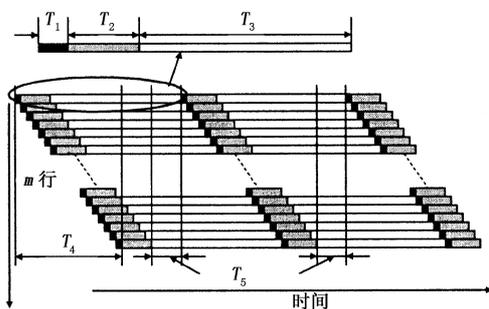


图2 低帧频扫描模式的时序特征

当帧频进一步提高,如图3所示,整行图像的稳

定时间 T_3 将被压缩,当第二帧图像信号开始时,末尾几行仍未完成第一帧图像的的稳定,因此,在第二帧图像以前,红外焦平面只能看到部分完整稳定的图像,这样就会给测试系统的采样造成错误。

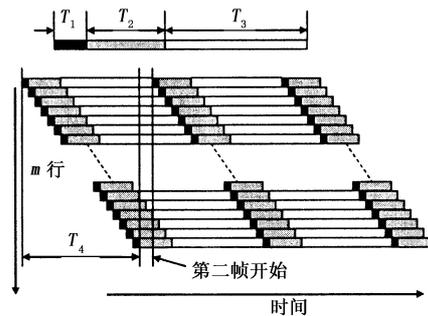


图3 高帧频扫描模式下出现采样错误

通过上面的分析可以得到 DIRSP 工作在扫描模式下,其帧频与各时间量的关系为:

$$1/f = T_4 + T_2 + T_5 \tag{1}$$

$$T_4 = mT_1 \tag{2}$$

$$T_2 = \text{Max}(t_r, t_d) \tag{3}$$

其中, t_r 为微辐射体辐射上升时间; t_d 为微辐射体辐射下降时间。由公式(1)、式(2)和式(3)可得最高帧频为:

$$1/f_{\text{max}} = T_4 + \text{Max}(t_r, t_d) \tag{4}$$

由公式(4)给出,要提高 DIRSP 的帧频,应缩短微辐射体辐射建立时间(t_r, t_d),提高移位寄存器扫描速度(T_4)。

3.2 单元电路结构

图4为扫描模式单元电路结构^[4-5]。单元电路由驱动管 M1、微辐射体电阻 R 、传输门 M2 以及采样保持电容四部分组成。驱动管 M1 的栅极电压决定像元的电流和温度,微辐射体电阻 R 在电流驱动下,电阻因焦耳热的作用产生非常明显的温度升高,从而释放比周围环境更高的红外辐射。通过调节栅电压,可以改变驱动电流,从而改变微辐射体的表面温度,相应的红外辐射也会发生变化。

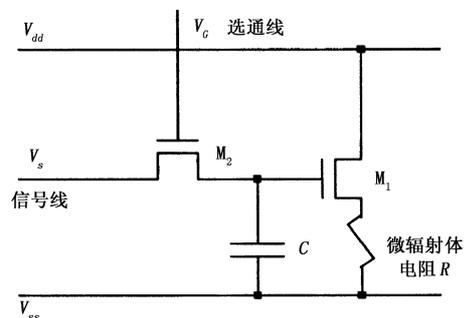


图4 扫描模式单元电路结构

在单元内只有一个采样保持电容,每一帧都是由一个采样保持电容上的模拟电压来更新图像。图5为单元电路工作时序波形,当 V_c 为高电平时传输门 M2 导通,信号 V_s 经传输门 M2 对保持电容 C 充电,并以相应的电流给微辐射体电阻 R 加热; V_c 为低电平时 M2 关闭,保持电容 C 可以“冻结”驱动管 M1 上的瞬时值。在选通管 M2 关闭时间内,存储在电容 C 上的电荷经单元漏电流缓慢放电, M1 可维持给电阻加热。

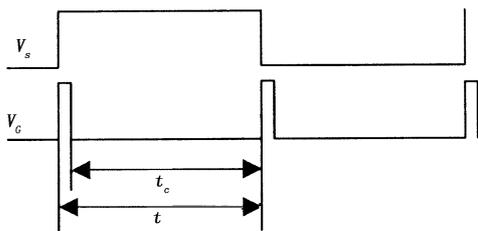


图5 扫描模式单元电路时序波形

4 快照模式

4.1 工作原理

图3表明在高帧频下,焦平面器件不能观察到一个完整稳定的热图像。为了消除在高帧频操作下出现的问题,可以采用快照模式,图6为快照模式的时序特征。

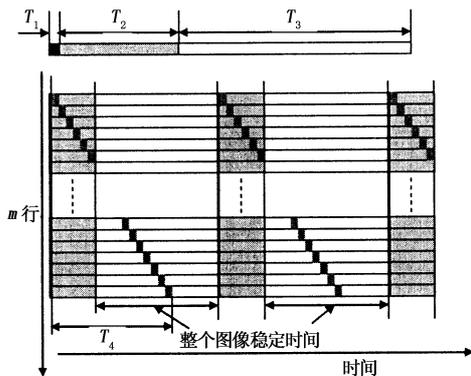


图6 快照模式的时序特征

快照模式和扫描模式,其移位寄存器的工作方式都采用扫描方式,不同的是单元电路结构和工作原理的不同。在快照模式单元电路中,设计了两个电容,即快照电容和采样保持电容。它的工作原理是:移位寄存器先选通一行,一行中的采样保持电容依次被选通,当选通到某单元时,信号控制电压通过传输门对采样保持电容充电,直到一行中所有单元都被选通过之后,移位寄存器再选通下一行,重复刚才的动作,直到扫描完所有单元电路,一帧时间内移位寄存器扫描完所有单元的时间,也就是移位寄

器总的扫描时间 T_4 。如图6所示,在 T_1 时间,所有单元的快照传输门导通,所有单元微辐射体同时被驱动,并由快照电容维持微辐射体的持续加热,经过 T_2 时间所有微辐射体同时达到稳定的目标温度;与此同时, T_1 时间后,移位寄存器重复刚才的动作,重新开始对所有单元采样保持电容进行下一帧信号的更新,这样,移位寄存器在扫描的同时,微辐射体通过快照电容完成热响应时间 (T_2) 和微辐射体图像稳定时间 (T_3),与扫描模式同一帧频条件下,快照模式延长了图像的稳定时间。

根据快照模式工作原理,快照模式不再存在整个移位寄存器扫描造成的微辐射体驱动时间延迟,因此,可以极大地提高 DIRSP 的工作速度,其帧频的计算公式为:

$$1/f = \text{Max}(T_2 + T_3, T_4) \tag{5}$$

当移位寄存器总的扫描时间 T_4 小于微辐射体的上升时间 T_2 时,由公式(3)和式(5)可给出最高帧频为:

$$1/f_{\text{max}} = \text{Max}(t_r, t_d) \tag{6}$$

根据中国科学院上海技术物理研究所研制的“128 × 128 动态红外景象投射器”的测试结果,微辐射体的辐射上升时间为 1.6 ms,假设每个单元被选通时间为 2 μs,移位寄存器总的扫描时间为 2 ms (128 × 8) 左右,采用扫描模式器件的工作频率最高为 274 Hz,如果采用快照模式,器件的工作频率可以达到 500 Hz 的帧频。

4.2 单元电路结构

图7为一种既可以工作于扫描模式,又可以工作于快照模式的单元电路结构^[6-7],单元电路是在扫描模式单元电路基础上进行改进,增加了快照传输门 M2,清零晶体管 M4 和快照电容 C2。当清零晶体管 M4 栅极为低电平 0 V,快照传输门 M2 栅极为高电平 5 V 时,此时电路可以工作于扫描模式。

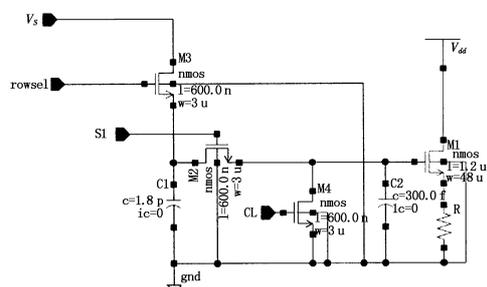


图7 快照模式单元电路结构图

图8为工作于快照模式下电路工作时序波形

图,结合图1和图2,当 rowsel 为高电平, S1 为低电平,采样保持传输门 M3 导通,快照传输门 M2 关闭, V_s 对采样保持电容 C1 充电到信号电压 V_1 ;之后关闭 M3,信号电压 V_1 保持在电容 C1 上,这时微辐射体辐射由 C2 上的信号电压 V_2 控制。在快照传输门 M2 导通前先将清零传输门 M4 导通,对驱动管 M1 栅电压进行电位清零,清零时间只有几微秒,不会对微辐射体的辐射产生明显影响,接着 S1 为高电平,所有单元快照传输门 M2 同时导通, C1 和 C2 上的电荷进行重新分配,之后 S1 为低电平, M2 关闭,信号电压 V_2 保持在电容 C2 上。电容 C1 和 C2 在进行电荷重新分配时有一个电压传输效率的问题,传输效率为:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{C1}{C1 + C2} \quad (7)$$

其中, V_1 是电容 C1 上的信号电压; V_2 是电容 C2 上的信号电压,电路设计中采样保持电容 C1 至少5倍于电容 C2。

根据公式(1)可以得到,如果 $C1 = 6C2$,只有85.7%的输入控制电压 V_s 传输到驱动管 M1 的栅输入端,如果输入电压的动态范围足够大,可以先对输入电压 V_s 进行电压校正,弥补14.3%的电压损失。

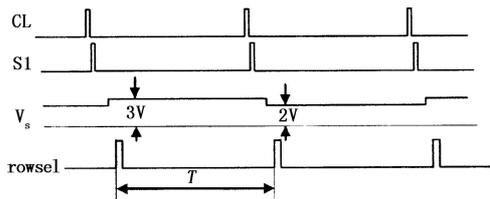


图8 快照模式单元电路的工作时序

5 实验结果

对图7的电路结构进行设计并完成 $0.6 \mu\text{m}$ 工艺流片。以下主要对电路的电学性能进行测试,包括功能性测试、电流电压传输特性测试和漏电流参数测试。测试所施加的电源电压为5V,微辐射体电阻采用固定值为 $5.1 \text{ k}\Omega$ 的电阻。

5.1 功能特性

快照模式通过单元电路内两个电容交替工作的工作方式,实现了所有单元的微辐射体同时被驱动,同时达到稳定温度的功能。

测试中采用前后帧不同的控制电压 V_s ,分别为3V和2V,帧时为5ms,图9为测试结果。其中, V_{outR} 为微辐射体两端的电压输出, V_{outR} 输出结果验证了单元电路中两个电容(C1和C2)交替工作的功能。

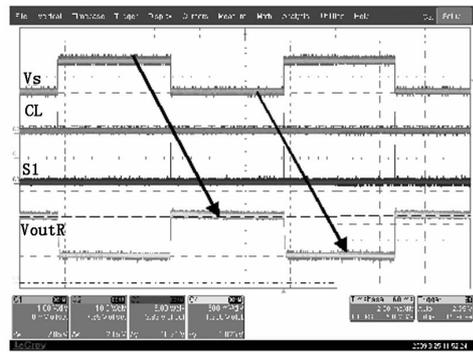


图9 快照模式功能测试

5.2 电流电压传输特性

图10为电流电压传输特性仿真和测试结果,横坐标为输入控制电压 V_s ,纵坐标为微辐射体驱动电流,图中测试和仿真之间的偏差主要是由于模型参数与实际参数之间有偏差。

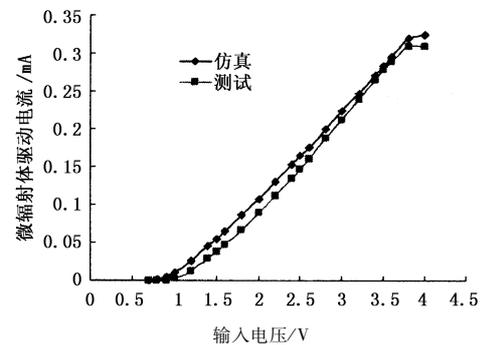


图10 驱动电流和输入电压的关系

5.3 漏电流

漏电流指标决定了单元电路在一帧时间内的保持特性,在测试保持特性时,将帧频时间增加到能明显看出电容上的压降,测试中采用的帧频为0.4Hz,单元传输门 M2 选通时间为 $5 \mu\text{s}$,关闭时间近似为2.5s。前帧对微辐射体进行加热,后帧对微辐射体进行清零,测试结果如图11所示,2.5s时间内,电容上的电压变化410mV,由此计算出的漏电流为 49.2 fA 。

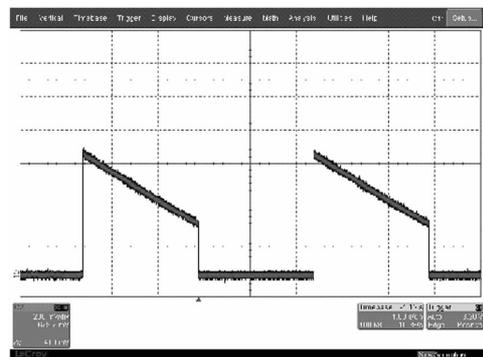


图11 单元电路保持特性

根据以上测试结果,假设电阻阵工作于200Hz

帧频,在一帧时间内,快照电容(0.3 pF)上的电压降为0.8 mV,如此小的电压变化不会引起一帧时间内微辐射体温度下降10%。

6 结 论

快照模式是在每个单元内采用两个采样保持电容,两个电容交替工作,所有微辐射体单元同时被驱动,同时达到稳定的温度,尽可能留下足够时间为测试系统。

工作于快照模式,不再存在整个移位寄存器扫描造成的时间延迟,在一定条件下快照模式可以不受移位寄存器总的扫描时间的影响,从而可以进一步提高器件的工作帧频。

参考文献:

[1] Richard Robinson, Jim Oleson, Lane Rubin, et al. Mirage: System Overview and Status [C]. SPIE, 2000, 4027:

387 - 398.

- [2] Paul Bryant. Mirage: developments in IRSP system development. RIIC design, emitter fabrication, and performance [C]//SPIE, 2004, 5408:173 - 187.
- [3] Richard G Lane. Innovations in Infrared Scene Simulator Design [C]. SPIE, 1998, 3368:78 - 87.
- [4] B Cole, C J Han, et al. High-performance 512 × 512 scene projector for targets against space backgrounds [J]. SPIE, 2009, 2223:38 - 50.
- [5] L Burriesci, D Keezer. A dynamic RAM imaging display technology utilizing silicon blackbody emitters [J]. SPIE, 1987, 765:112 - 122.
- [6] B Cole, B Higashi. Innovations in IR Projector Arrays [C]. SPIE, 2000, 4027:354 - 364.
- [7] Theodore R Hoelter, et al. Large area infrared scene emitter RIIC [P]. US:006465798B1, 2002 - 10 - 15.