

文章编号: 1672-8785(2023)03-0020-09

制冷型红外热像仪高亮点源目标重影研究

张 鹏 唐传林 向麟槐 胡志斌

刘 鹏 曾兴容 王雪素

(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘 要: 随着高分辨率制冷型红外热像仪的发展, 模拟信号的频率提高了, 因此需要保证传输路径上模拟信号的质量, 从而保证红外成像质量。在自研 $1280 \times 1024 @ 15 \mu\text{m}$ 中波红外热像仪的成像实验中发现, 红外图像中高亮的点源目标都以成对的方式出现, 即图像出现重影。这对较小目标的探测及识别造成了严重的干扰。提取了模拟信号传输路径模型及仿真电路信号并进一步对比了红外图像, 发现信号传输路径上的阻抗不匹配是导致图像重影的主要原因。经验证可知, 当传输路径上的匹配电阻在 $40 \sim 70 \Omega$ 之间时, 信号传输质量较好, 红外图像重影问题可以得到解决。

关键词: 红外热像仪; 阻抗匹配; 红外成像

中图分类号: TN22 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2023.03.004

Research on Ghosting of Highlight Point Target of Cooled Infrared Imager

ZHANG Peng, TANG Chuan-lin, XIANG Lin-huai, HU Zhi-bin,

LIU Peng, ZENG Xing-rong, WANG Xue-su

(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: With the development of high resolution cooled infrared thermal imager, the frequency of analog signal has been improved. This leads to the need to ensure the quality of analog signals along the transmission path, so as to ensure the imaging quality of infrared images. In the imaging experiment of $1280 \times 1024 @ 15 \mu\text{m}$ medium-wave thermal imager, it is found that the highlighted point source objects in infrared images appear in pairs. It means that the ghosting appears. This causes serious interference to the detection and identification of smaller targets. In this paper, the simulation signal transmission path model and the simulation circuit signal are extracted and the infrared images are further compared. It is found that the impedance mismatch on the signal transmission path is the main cause of image ghosting, and it is verified that when the matching resistance on the transmission path is between 40Ω and 70Ω , the signal transmission quality is better, and the infrared image ghosting problem can be solved.

收稿日期: 2022-10-31

作者简介: 张鹏(1989-), 男, 山西大同人, 工程师, 硕士研究生, 主要研究方向为红外成像电路硬件设计。E-mail: 17353227528@163.com

Key words: infrared imager; impedance matching; infrared imaging

0 引言

制冷型红外热像仪利用某些物质的温度敏感性来进行红外辐射能量的探测。吸收物体辐射出来的红外能量后, 探测元件温度升高, 并且会随着入射红外能量的变化而变化; 然后将物体辐射能量引起的温度变化转换为相应的电信号, 或者利用探测元件的温度敏感特性引起电路中电流大小的变化, 并将其进一步转换为相应的电信号^[3]。

在自研的 $1280 \times 1024 @ 15 \mu\text{m}$ 中波红外热像仪中, 探测元件将探测到的模拟电信号经过探测器近贴电路板, 从而把单端模拟信号转换为差分模拟信号, 然后将其输入到高速模数转换器(Analog-to-Digital Converter, ADC)中转换成数字信号。数字信号经过现场可编程逻辑门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)主处理芯片处理后, 从 Base Cameralink 接口以数字视频的方式输出到 PC 显示屏上, 以供人眼观察。信号经过的传输路径如图 1 所示。

$1280 \times 1024 @ 15 \mu\text{m}$ 中波红外热像仪(见图 2)目前已经应用到多个自研及竞标项目上。

图 2(a)和图 2(b)分别为该热像仪的正视图和俯视图。它主要由探测器、成像电路、光学镜头及结构件组成。制冷型红外探测器由探测器件、一体式制冷机和读出电路芯片组成。其中, 制冷机为探测器件和读出电路提供了稳定的低温环境; 探测器件将感应到的电信号传输给成像电路, 从而产生红外图像。

在对这款自研的 $1280 \times 1024 @ 15 \mu\text{m}$ 中波红外热像仪进行实验时发现, 红外图像中所有的高亮点源目标都以成对的方式出现, 即图像出现重影^[1]。这对较小目标的探测及识别造成了严重的干扰^[2]。

为了解决该问题, 我们重新用自制的四杆靶测试了四杆靶图像(见图 3), 发现四杆靶图像并不会拖尾, 而四杆靶拖尾的问题则由模拟信号的带宽不足导致。也就是说, 带宽不足不会造成高亮点源目标的重影问题, 所以我们将重点放在模拟信号的传输质量上。

1 模拟信号传输线理论

在传统的电路学理论中, 连接电路信号的尺寸远小于所传输电路信号的最高频率所对应

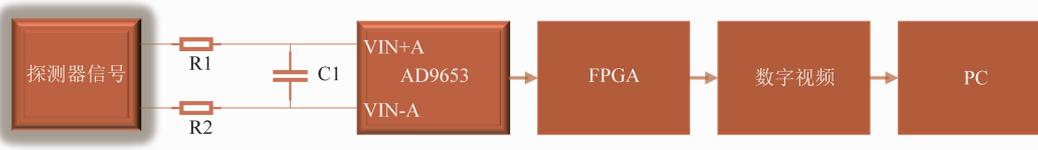


图 1 制冷型红外热像仪的信号传输路径

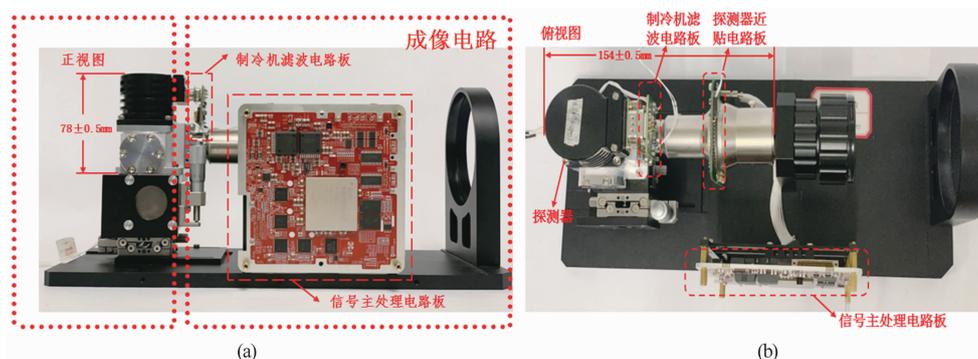


图 2 制冷型红外热像仪的实物图: (a)正视图; (b)俯视图



图 3 四杆靶测试图

的波长，这种电路互连元件等效为一阶电路元件或集中元件；而当电路互连元件的尺寸接近所传输电路信号最高频率所对应的波长时，电路连接路径上不同位置的电压或电流的大小与相位均可能不同，这种电路互连元件等效为多阶电路元件或分布式元件。所传输电路信号的边沿速率基本决定了信号中最大的频率分量。在工程上通常认为，若信号边沿传输时间小于 4~6 倍的电路互连传输延时，则应考虑信号完整性^[4]。

当无法保证信号完整性时，信号在传输过程中就可能造成过冲、回冲、振铃、边沿单调性等质量问题。过冲即信号跳变的第一个峰值或谷值，下冲即信号跳变的下一个谷值或峰值（见图 3）。过冲电压的长期性冲击会造成器件的损坏，而严重的下冲则会超过接收器件的门槛从而使器件逻辑判断错误。

信号在驱动器和接收器之间来回屡次反射，就会产生振铃现象（见图 4）。这增长了信号稳定所需要的时间，从而也影响了系统稳定的时序。

这款 1280×1024@15 μm 中波红外热像仪的模拟信号在经过探测器近贴电路板后以差分信号的形式传输到主处理电路板上的高速 ADC。图 5 为 ADC 前端电路图。该热像仪的探测器的模拟信号频率在 10 MHz 以上，信号

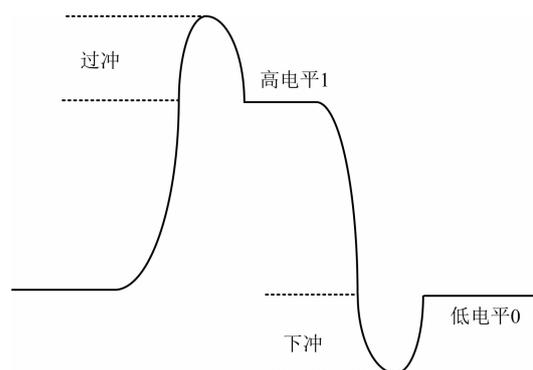


图 3 信号的过冲与下冲现象

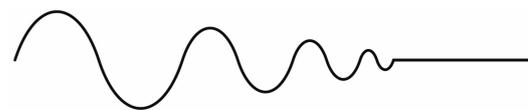


图 4 信号的振铃现象

边沿时间如图 6 所示。

信号边沿时间在 40 ns 以下，而模拟信号前端的传输延时大概为 100 ns。信号边沿时间小于 4~6 倍的信号传输延时，所以需要考虑信号传输的完整性问题。

作为一对耦合的传输线，差分线的电路模型如图 7 所示。差分传输线上传输的信号可以分为差模分量和共模分量，其差分信号为

$$V_{diff} = V_1 - V_2 \quad (1)$$

共模信号是两根线上的平均电压：

$$V_{comm} = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) \quad (2)$$

在差分传输的两根传输线中，一根用于传输信号，另一根用于传输幅度相同、相位相反的互补信号以达到更好的传输效果。对于理想情况下的差分信号传输，两个单端传输的信号以共模电压为基准上下翻转，是幅度相同、相位相反的完全对称的信号。有用的传输信号分量是差分信号，接收端通过接收的差分信号来判决，而共模信号是恒定不变的。但是就传输线来说，由于很多传输互连物理设计方面的原因，两对差分信号不完全对称，差分信号分量会转换为共模信号，进而引起共模信号的变化，产生潜在的电磁干扰 (Electromagnetic Interference, EMI) 共模辐射。信号波形如图 8 所示。

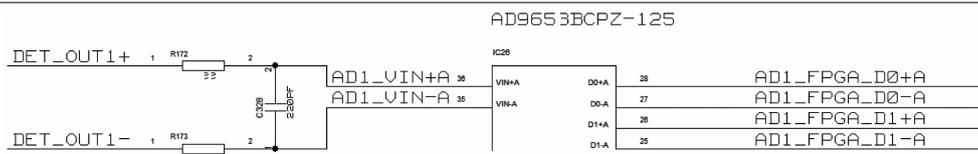


图 5 ADC 前端电路图

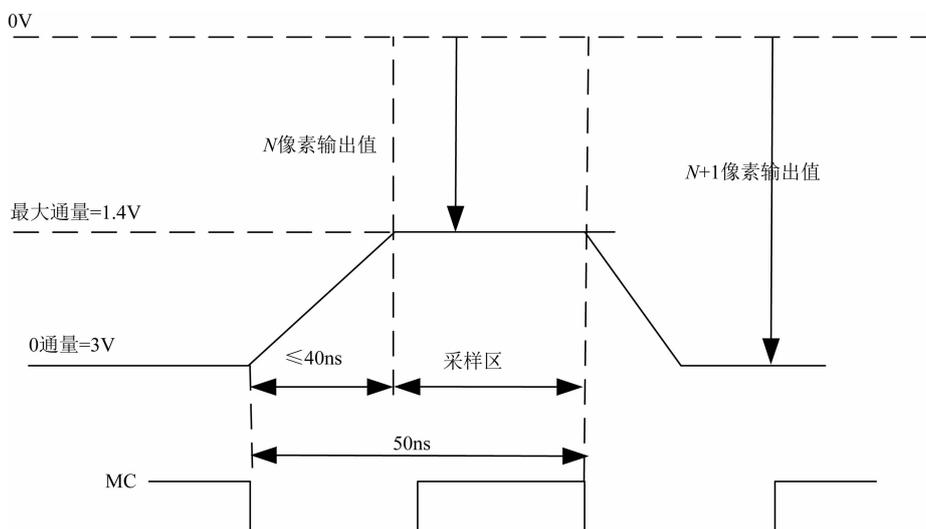


图 6 探测器输出级信号边沿时间

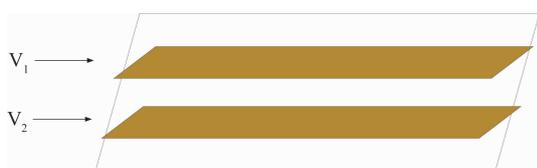


图 7 差分微带线电路模型

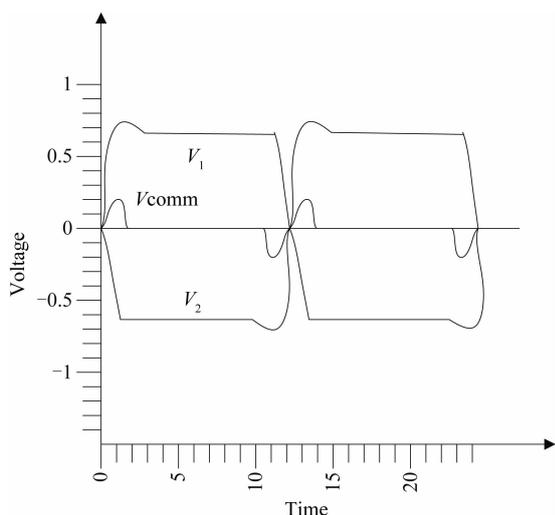


图 8 差分信号转换为共模信号

在差分传输线上传输的信号状态有两种特殊形式：一种是在两线上有完全相同的电压驱动，这种状态被称为偶模状态，此时单根信号

线相对于公共返回路径的特性阻抗被称为偶模阻抗；另一种在两线上有幅度相同、相位相反的完全对称的电压驱动，这种状态被称为奇模状态，此时单根信号线相对于公共返回路径的阻抗被称为奇模阻抗。本文在电路中采用的是奇模状态。图 9 所示为 PCB 上的差分传输线结构。

在差分信号的传输过程中，通常把两根传输线看成一个整体。传输线上的差分信号分量的特征阻抗被称为差分阻抗，可以看成信号在其中一根信号线上传输并将另一根信号线作为参考返回路径时的特性阻抗。所以将 R172 和 R173 相加的和作为传输路径上的差分阻抗。

2 模拟信号传输线仿真

通过分析上述模拟信号理论及实际原理图设计可知，我们需要考察模拟信号前端的信号质量问题。接下来利用 Allegro 软件的 SigXplorer 模块对 PCB 板上 ADC 前端的模拟信号路线的拓扑进行提取。提取后的模型如图 10 所示。

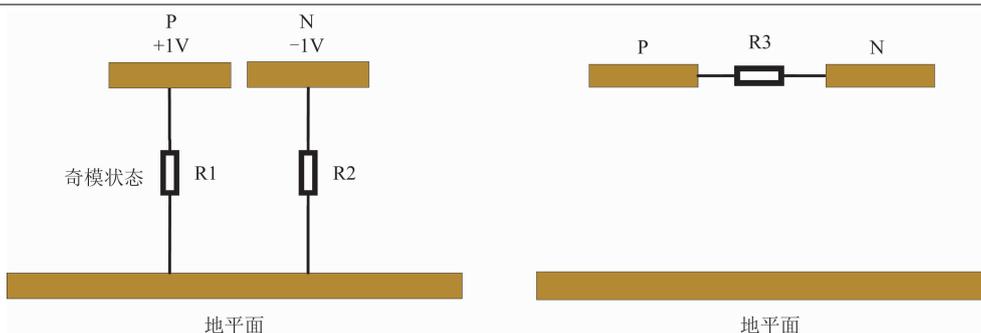


图 9 差分传输线结构图

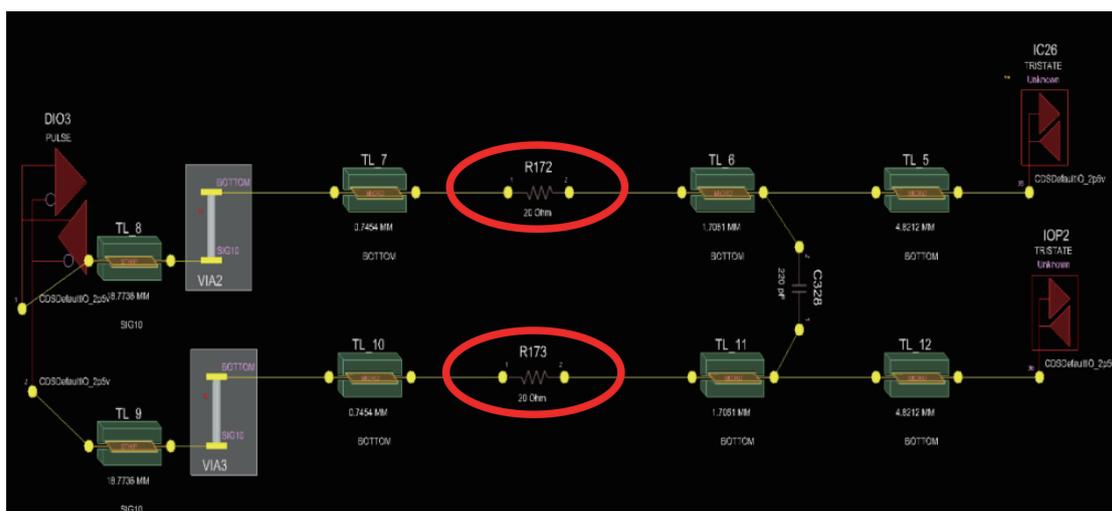


图 10 模拟信号链路拓扑提取

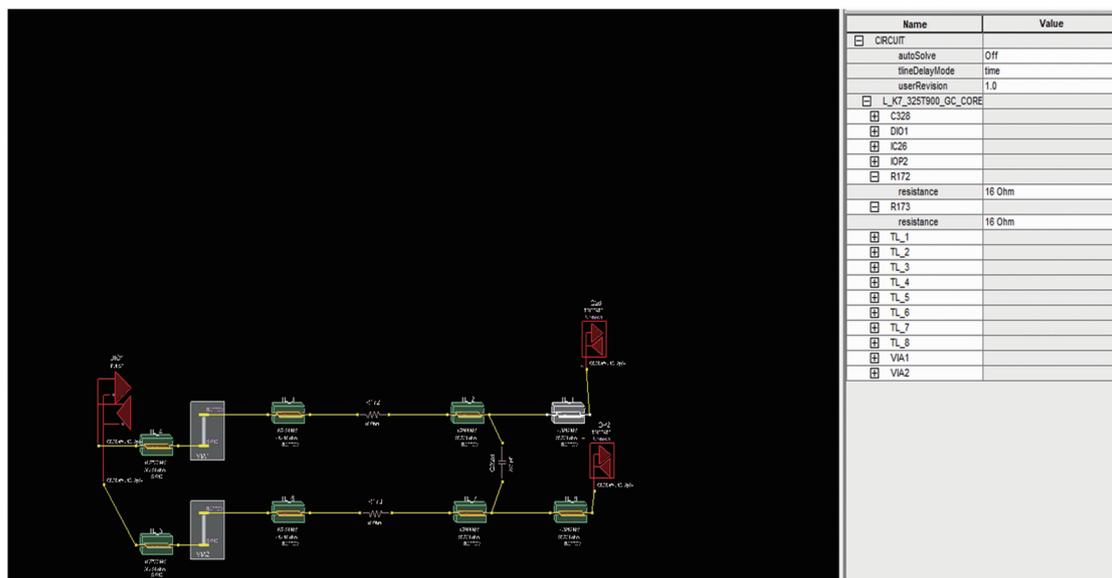


图 11 差分微带线上电阻参数①的设置界面

图 10 中左侧的驱动端为探测器给出的差分模拟信号。信号经过差分路线上由电阻和电容组成的拓扑结构以及所提取的传输路线上的走

线阻抗和过孔模型后到达 ADC 芯片。然后通过改变图 10 中 R172、R173 的阻值来观察传输路径上的阻抗变化对模拟信号质量的影响。

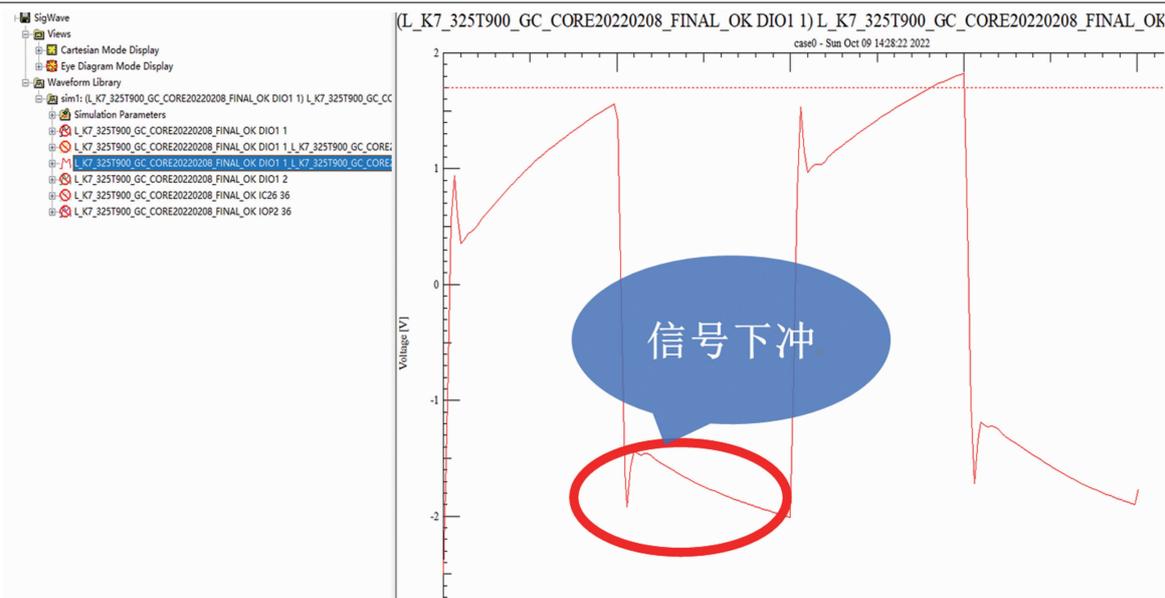


图 12 按电阻参数①仿真时接收到的信号波形



图 13 差分微带线上电阻参数②的设置界面

当 $R_{172} = R_{173} = 16 \Omega$ (见图 11) 时, 接收到的信号波形如图 12 所示。当 $R_{172} = R_{173}$ 在 $40 \sim 70 \Omega$ 之间 (见图 13) 时, 接收到的信号波形如图 14 所示。当 $R_{172} = R_{173} > 70 \Omega$ (见图 15) 时, 接收到的信号波形如图 16 所示。分析上述仿真波形结果后发现, 当差分路径上的匹配电阻在 $40 \sim 70 \Omega$ 之间时, 模拟信号在传输后仍能保持较好的信号质量。

接下来修改成像主处理电路板上的匹配电阻阻值, 然后采用同一探测器及成像电路来验

证匹配电阻给红外成像带来的影响。成像效果之间的对比如图 17~图 19 所示。

通过对比上述电路仿真波形及红外成像图发现, 随着模拟信号传输路径上匹配电阻阻值的改变, 红外图像中高亮点源目标的重影可以消除。此外, 经验证发现, 当模拟前端的差分线路上的匹配电阻控制在 $40 \sim 70 \Omega$ 之间时, 信号传输的质量较高, 同时红外图像中的高亮点源目标的重影也消除了。



图 14 按电阻参数②仿真时接收到的信号波形

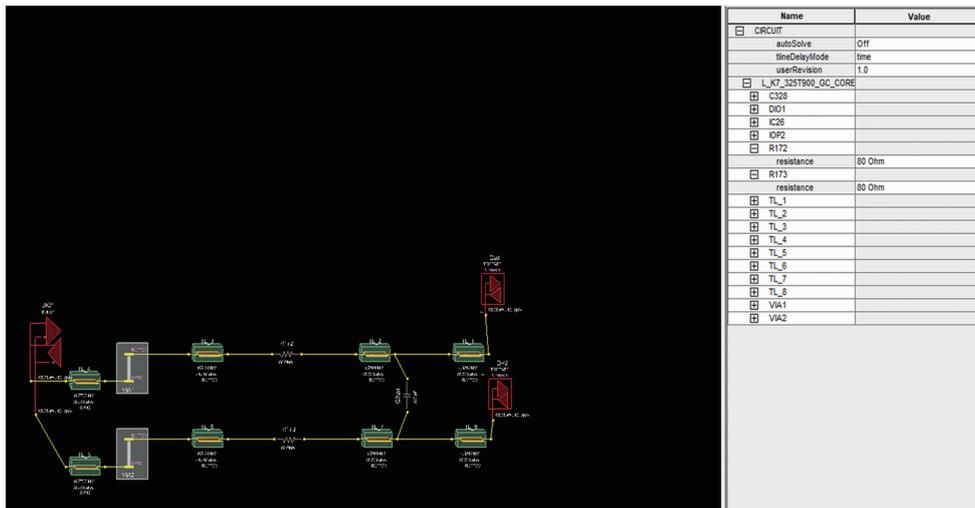


图 15 差分微带线上电阻参数③的设置界面

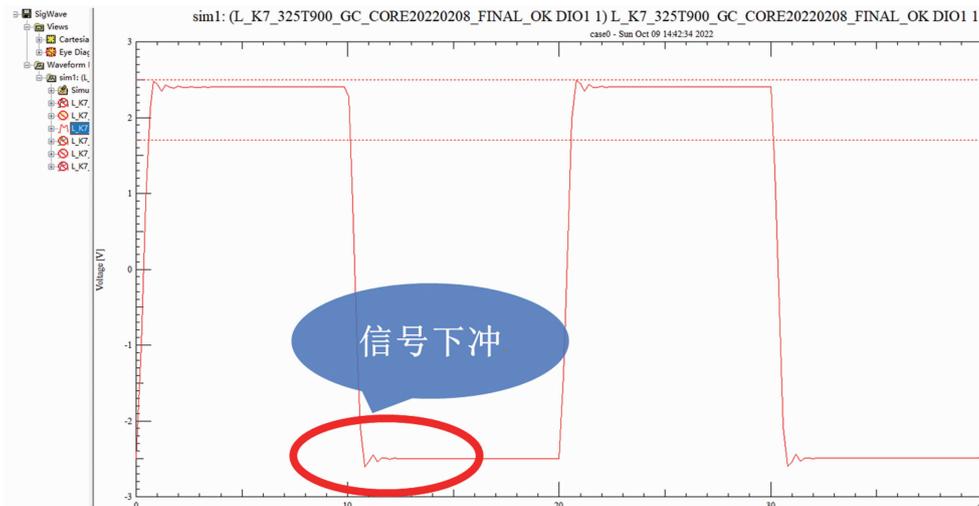


图 16 按电阻参数③仿真时接收到的信号波形



图 17 电阻参数①下的成像图

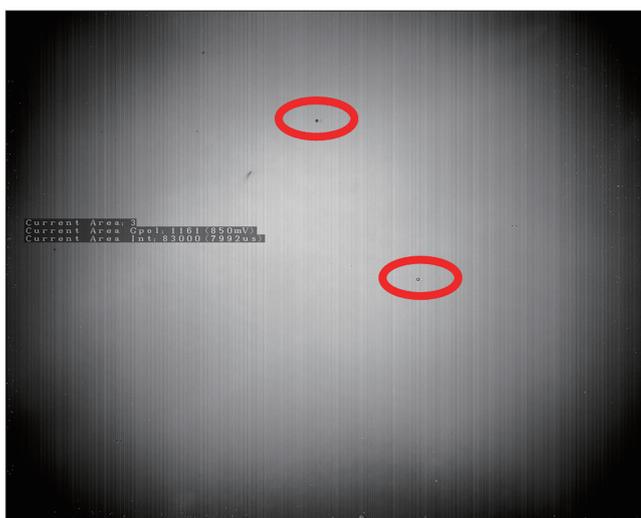


图 18 电阻参数②下的成像图

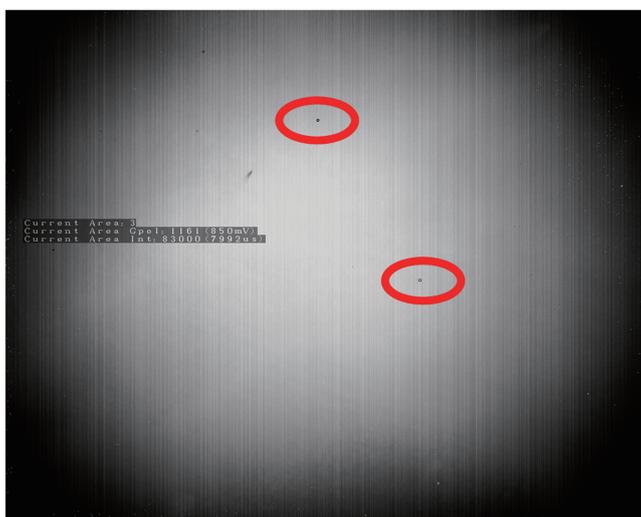


图 19 电阻参数③下的成像图

3 结束语

随着高分辨率制冷型红外热像仪的发展,模拟信号频率达到 10 MHz 以上,这样就要更加关注传输路径上模拟信号的质量。本文深入分析了红外成像中高亮点源目标出现重影的问题,在验证了带宽不足不会导致图像高亮点源目标重影的情况下,着重关注了模拟信号传输路径上的信号质量问题。此外,通过提取电路模型并对比仿真波形和实测红外图像,验证得到以下结论:当传输路径上的匹配电阻在 40 ~70 Ω 之间时,信号传输质量较好,且红外图像中高亮点源目标的重影问题可以得到解决。同时,高亮点源处的重影与目标值的灰度相差比较明显,后续可通过提高图像处理阈值

来对其进行消除。

参考文献

- [1] 李娟,冯帅,马静,等. 红外焦平面探测器成像中的重影现象 [J]. 激光与红外, 2018, 48(4): 1-4.
- [2] 苏林,黄其煜. CMOS 图像传感器中的串扰与常用解决方案 [J]. 传感器与微系统, 2008, 27(8): 65-68.
- [3] 陈钱,隋修宝. 红外图像处理理论与技术 [M]. 北京:电子工业出版社, 2018.
- [4] 陈兰兵,钟章民,肖定如,等. Cadence 高速电路设计 Allegro Sigrity SI/PI/EMI 设计指南 [M]. 北京:电子工业出版社, 2014.