

文章编号:1001-9014(2007)02-0125-04

直接检波式毫米波接收机研制

关福宏^{1,2}, 王 闯^{1,2}, 田为中^{1,2}, 钱 蓉¹, 孙晓玮¹

(1. 中国科学院微系统与信息技术研究所, 上海 200050;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:以被动式毫米波成像为应用背景,研制了一种频带宽 4GHz、中心频率 25GHz 的集成直接检波式接收机的原理样机.介绍了接收机的工作原理,设计、制作、测试了原理样机各个功能模块并对整个系统进行了测试.

关键词:毫米波接收机;直接检波;被动式毫米波成像

中图分类号:TN957 TN409 **文献标识码:**A

DEVELOPMENT OF MMIC DIRECT DETECTION RECEIVERS

GUAN Fu-Hong^{1,2}, WANG Chuang^{1,2}, TIAN Wei-Zhong^{1,2}, QIAN Rong¹, SUN Xiao-Wei¹

(1. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology of CAS, Shanghai 200050, China;
2. Graduate School of CAS, Beijing 100039, China)

Abstract: A MMIC direct detection receiver in principle-model version with a central frequency of 25 GHz and a 4 GHz bandwidth was developed on the background of passive millimeter imaging systems. The operation principle of the receiver was described. Each part of the receiver was designed, manufactured, and measured individually and then the complete receiver was tested.

Key words: millimeter wave receiver; direct detection; passive millimeter imaging

引言

近年来,拓展的商业及军事应用前景使科学界对新型的被动毫米波成像技术更加关注,特别是随着 MMIC 及 MCM 技术的迅速发展,将多个单片的毫米波阵列探测器置于聚焦天线焦面,在同一时间比较多个波束输出能量差别,从而达到提高辐射计的灵敏度和成像速率目的的焦平面阵列成像系统以其具有适中的视场范围和空间分辨率,极高的温度灵敏度和实时成像的本领而得到迅猛发展^[1-4]. 本文以此为应用背景,分成三部分论述了一种频带宽 4GHz、中心频率 25GHz 的集成直接检波式接收机原理样机的研制及测试结果. 第一部分论述了直接检波式接收机的工作原理、相关系统参数,第二部分论述了接收机系统各个功能模块的设计及测试结果. 第三部分论述了原理样机的研制及测试结果.

1 直接检波式接收机原理^[5]

接收机的基本功能是测量天线接收到的热源的热

辐射功率.

直接检波式接收机具有不需要本振、直流功耗低和体积小、结构简单的特点,在系统积分时间短、小型化、集成化要求高的焦平面成像阵列系统中,具有显著的优势. 直接检波式接收机主要由带宽为 B , 增益为 G 的低噪声放大器、输出电压和输入功率成比例的灵敏度为 $C(V/W)$ 的小信号检波器及将检波输出电压进行低频滤波并放大的低频放大电路组成,如图 1 所示,若接收机输入端对应的有效功率 W_s 、检波前的有效噪声功率为 W_m ,则接收机的输出电压 V_d 为

$$V_d = CG(W_s + W_m) \quad (1)$$

2 电路的设计及测试结果

直接检波式全功率接收机主要由低噪放、小信号检波器及低频放大器三部分组成. 低噪放将天线接收到的微弱的毫米波信号放大,然后输入到检波器,将毫米波信号转换为直流电压信号,再将该直流

收稿日期:2006-04-26,修回日期:2006-11-02

基金项目:上海应用材料科技基金(0503)和新泰基金资助项目

作者简介:关福宏(1976-)女,辽宁本溪人,博士生,研究方向为射频与毫米波电路,系统集成.

Received date: 2006-04-26, revised date: 2006-11-02

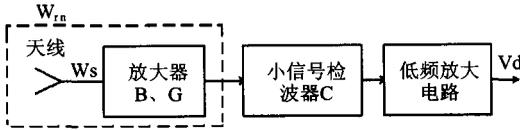


图1 直接检波式接收机
Fig. 1 Block diagram of the direct detection receiver

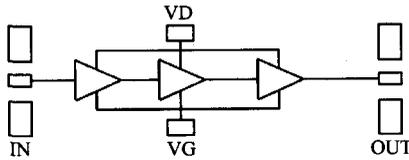


图2 低噪放芯片结构框图
Fig. 2 Block diagram of the MMIC LNA

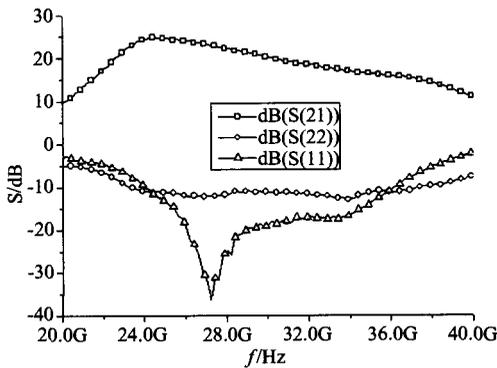


图3 低噪放芯片 S 参数测试图
Fig. 3 Measurements of the MMIC LNA S-parameters

电压信号经由低频放大模块进行放大,达到数字信号处理的要求.我们分别设计加工了这些模块,并对单个模块的性能进行了测试.具体内容将在下面进行详细阐述.

A. 低噪声放大器

选用自行设计的 MMIC 放大器芯片^[6],该芯片采用国际先进 0.25 μm PHEMT 工艺加工而成,芯片尺寸(1 \times 2 \times 0.1)mm³,图2是放大器的结构框图,由三级管芯级联放大,射频信号的输入输出端在芯片的两侧,直流偏置电压为 $V_d = 4\text{V}$ 、 $V_g = -0.55\text{V}$,漏源电流 $I_{ds} = 58\text{mA}$.采用 CascadeTM 12000 探针台、HP8722D 网络分析仪及 Aglient N8975A 噪声分析仪对芯片进行测试,芯片的工作频段为 24 ~ 38GHz、1dB 压缩点输出功率大于 15dBm、噪声系数小于 3.5 dB、增益大于 15dB.图3和图4分别为单片放大器的 S 参数和噪声增益测试结果.

根据系统增益要求,放大器模块由 2 片 MMIC 芯片级联组成.芯片间用金丝连接,并用银浆粘在金

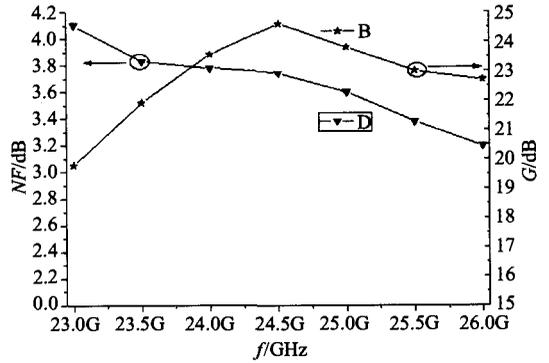


图4 低噪放芯片噪声系数和增益
Fig. 4 Gain and noise Figure of the MMIC LNA

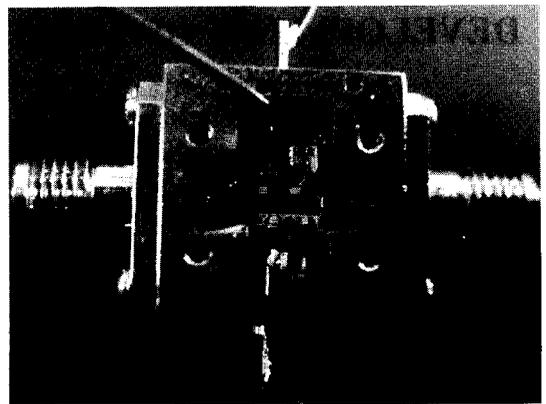


图5 放大器模块照片
Fig. 5 Photograph of module with the two MMIC amplifiers

属载体内,芯片输入、输出端先用金丝与微带线相连,微带再与 SMA 头相连,芯片的直流偏置通过导线引出并加入相应的滤波电容.图5是放大器模块实物照片.本系统选取增益比较高且平坦度比较好的一段频率:24 ~ 27GHz.在选取频段内,噪声系数小于 3.8dB.

B. 小信号二极管检波器

小信号二极管检波器利用二极管的非线性伏安特性把放大器模块放大后的毫米波功率信号转变为直流电压信号^[7].我们选用饱和电流低、串联电阻小,可以在不加直流偏置的条件下检测出较小的功率信号的型号为 hsch-9161 零偏置型检波二极管芯,根据二极管的小信号模型用射频电路 CAD 软件进行检波电路的仿真设计.电路制作在厚度 0.254mm、介电常数 2.2 的复合材料上,电路由滤除射频分量的高低阻抗带阻滤波器、“ π ”型输入阻抗匹配网络及高阻接地微带线的直流通路组成,二极管芯采用倒扣技术粘在电路上,最后将电路板用银浆粘在载体上,电路的射频输入端采用 SMA 头压在

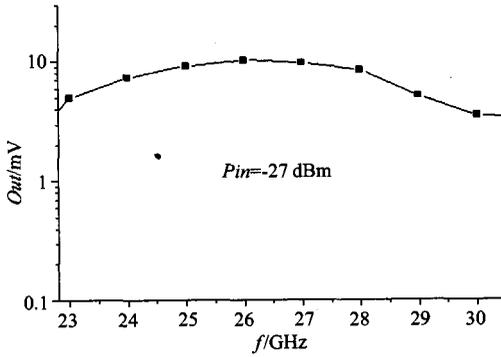


图6 检波器检测电压—频率特性测试曲线
Fig.6 Measurements of the detector's detected voltage frequency response

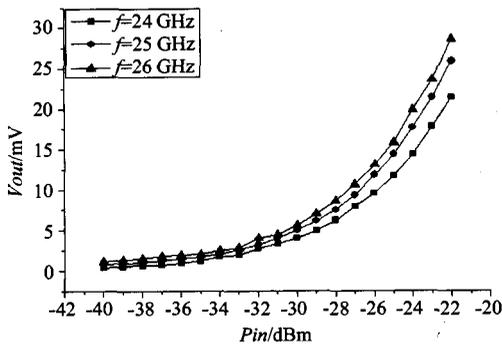


图7 检波器输入功率—检测电压特性测试曲线
Fig.7 Measurements of the detector's detected voltage power response

微带上的方式连接. 图6为输入功率-27dBm时的输入频率-输出电压测试曲线, 图7为频率分别为24、25和26GHz时输入功率-输出电压曲线的测试曲线, 图8为检波器实物照片.

C. 低频放大电路

该电路主要由3片集成放大模块构成. 由于检波器输出的信号十分微弱, 其初级放大器不仅要有较低的偏置电流特性, 而且要求输入噪声电压和零漂移电压都比较小, 基于这些考虑, 选用了具有低温漂、低失调及低噪声特性的精密运算放大器 OP27. 信号经初级放大后先后经过两片 LF353 场效应集成双运放分别实现两次先低通滤波再放大的功能, 得到在 0~250Hz 频率范围内增益 500 倍的低频放大电路. 图9为该电路的仿真结果, 实际测试结果与仿真结果符合较好.

3 接收机系统的初步集成及测试结果分析

直接式检波接收机各功能模块分别加工调试后, 对系统初步集成, 组成接收机的原理样机, 并对

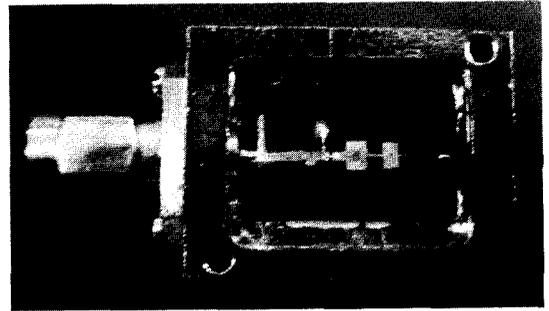


图8 检波器照片
Fig.8 Photograph of the detector

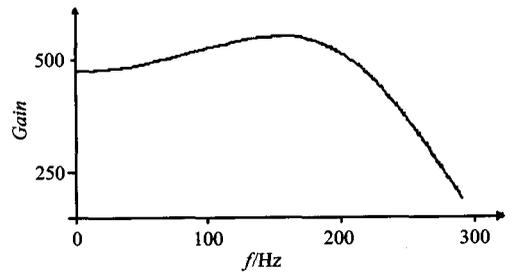


图9 低频放大电路频率特性
Fig.9 Frequency response of the low frequency amplifier



图10 接收机前端照片
Fig.10 Photograph of the front-end

接收机进行了测试, 确定接收机前端的频率特性和动态工作范围. 图10为接收机前端实物图, 放大器和检波器通过 SMA 头相连, 检波器和视频放大器之间通过导线直接相连, 图11为接收机测试框图. 测试时, 接收机射频输入端接功率信号, 模拟天线接收到的信号, 输出端接示波器, 观测输出电压. 图12为信号源输入功率为-62dBm, 接收机输出电压-输入频率特性曲线, 图13为输入信号频率分别为23、25和27GHz, 输入功率-输出电压特性曲线.

测试结果表明系统在 23~27GHz 的频率范围内, 具有相当的平坦度和动态范围, 能够检测出-70dBm的微弱信号. 比较接收机的测试结果与各个功能模块在集成前分别测试的结果, 发现集成后的测试指标较集成前有相当程度恶化. 经过分析, 认

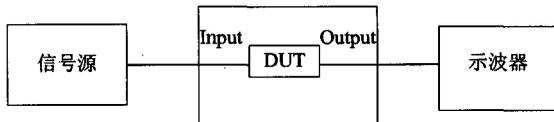


图 11 接收机测试连接框图

Fig. 11 Connecting diagram used to measure the receiver

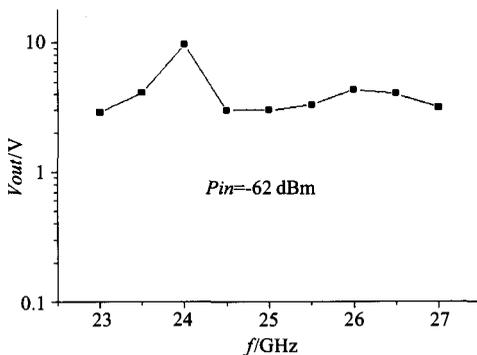


图 12 接收机探测电压—频率特性曲线

Fig. 12 Measurements of the receiver's detected voltage frequency response

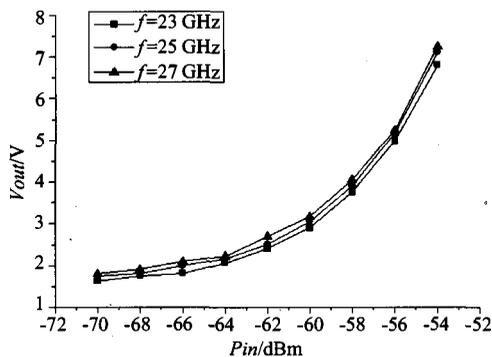


图 13 接收机输出电压—输入功率特性曲线

Fig. 13 Measurements of the receiver's detected voltage power response

为主要原因一是射频信号传输通道上阻抗有一定失配,这包括组成放大器模块的 MMIC 芯片间、放大器与检波器之间的连接,二是进入检波器的除了工作频带内的信号以外,还引进了其他频率的噪声信号。从而使得整个系统频带变窄、平坦度不理想。下一步

要改进放大器模块的匹配特性,在两极芯片、放大器模块输出端设计匹配电路;在放大器模块与检波器模块之间增加带通滤波器,进而改善增益平坦度,展宽整个系统工作带宽。

4 结语

本文分析了广泛用于焦平面成像阵列的全功率型毫米波直接检波式接收机的基本工作原理。研制了中心频率 25GHz,带宽 4GHz 接收机原理样机,对样机及各个组成模块均进行了测试,证明了方案的可行性。为实现体积小、功耗低高性能毫米波小型化集成前端并最终实现毫米波焦平面阵列打下理论和实践基础。

REFERENCES

- [1] Dow G S, Ton T N, WANG H, et al. W-band MMIC direct detection receiver for passive imaging system [J]. *IEEE MTT-S Digest*, 1993, 1: 163—166.
- [2] ZHANG Yong, LI Xing-Guo, SHEN Yue-Hong. The study of 8mm three channel radiometer system for two dimension detecting [J]. *Aerospace Shanghai* (章勇, 李兴国, 沈越泓. 8mm 三通道二维探测辐射及系统研究. 上海航天), 1998, 15(6): 3—7.
- [3] QIAN Song-Song, LING Xing-Guo, MIAO Chen. Rechearch of bomb-borne 3mm three beams detection system with class-grain antenna [J]. *J. Infrared Millim. Wave* (钱嵩松, 李兴国, 缪晨. 使用卡氏天线的弹载 3mm 三波束探测系统的研究. 红外与毫米波学报), 2004, 23(4): 295—298.
- [4] WANG Min, LI Xing-Guo, WU Wen. 8mm direct detection receive [J]. *J. Infrared Millim. Wave* (汪敏, 李兴国, 吴文. 8mm 波段直接检波式接收机研究. 红外与毫米波学报), 2002, 21(4): 310—313.
- [5] Richard K Moore. *Manual of remote sensing* [M]. Beijing: National Defense Press (理查德 K. 穆尔. 遥感手册 (第三分册) 第 5 章. 北京: 国防工业出版社), 1982: 129—172.
- [6] WANG Chuang, QIAN Rong, SUN Xiao-Wei. K-band monolithic low noise amplifier with high gain [J]. *Chinese Journal of Semiconductor* (王闯, 钱蓉, 孙晓玮. 高增益 K 波段 MMIC 低噪声放大器. 半导体学报), 2006, 27(7): 1285—1289.
- [7] DENG Jian-Hua, GAN Ti-Guo, YU Zhi-Yuan. A high performance K band broadband detector [J]. *Research & Development* (邓建华, 甘体国, 喻志远. 高性能 K 波段宽频带检波器. 电讯技术), 2003, (2): 105—108.