

文章编号: 1001 - 893X(2011)06 - 0134 - 04

Ka 频段低噪声接收前端设计*

熊文毅

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘要:介绍了一种应用于卫星通信的 Ka 频段低噪声接收前端的设计方法。通过合理选择器件组合和电路形式, 优化输入连接和电路级间匹配, 最终研制完成了 Ka 频段低噪声接收前端。接收前端的接收信号频率在 30 GHz 附近。在 0.8 GHz 工作带宽内, 噪声系数小于 2.2 dB, 增益大于 60 dB, 带内增益波动小于 1 dB。3 套样机的测试结果验证了设计的有效性。

关键词:卫星通信; Ka 频段; 低噪声; 接收前端

中图分类号: TN85 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.06.030

Design of a Ka - band Low Noise Receiver Front-end

XIONG Wen-yi

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: The design of a low noise Ka - band receiver front - end used in satcom is presented. Through appropriate choice of components and circuits form and optimization of input port matching circuits, a low noise Ka - band receiver front - end is realized. The frequency is at 30 GHz. In 0.8 GHz frequency bandwidth, the NF (Noise Figure) is less than 2.2 dB, the gain is more than 60 dB and gain fluctuation is less than 1dB. The test result of 3 sets of samples demonstrate the validity of design.

Key words: satellite communication; Ka - band; low noise; receiver front-end

1 引言

毫米波频段因为更高的频率而拥有独特的优势: 可利用的频谱资源丰富, 可用带宽达几吉赫, 为高速信息传输提供了良好条件; 波长短, 在同样的增益要求下, 天线口径和体积更小; 窄波束, 方向性好, 保密性好; 借助于成熟发展的 MMIC 技术, 可以更好实现信道的集成化、小型化, 更适合于星载使用。因此, 毫米波卫星通信已逐渐成为卫星通信的主流。

减少外部和内部噪声的影响可以提高接收灵敏度, 增大天线口径可以提高天线增益和降低外部噪声影响。但是当天线尺寸受限时, 降低接收系统内部噪声就成为一个非常关键的问题。

就内部噪声中的热噪声而言, 影响最大的是接收前端最前级放大器的噪声性能。随着高电子迁移率晶体管 (HEMT) 和电子束平版印制技术 (Electron Beam Lithography) 的成熟应用, MMIC 制造工艺不断提高, 毫米波频段的 MMIC 低噪声放大器的噪声系数也在不断降低。采用 0.07 μm 栅长工艺的 MMIC 低噪声放大器, 噪声系数小于 1.3 dB (30 GHz), 但主要为客户定制产品, 无法采购。

本文通过对影响接收前端噪声系数指标的各项因素进行分析, 并针对性地采取优化措施, 最终利用商用 MMIC 低噪声放大器实现了满足要求的噪声系数。研制完成的 3 套接收前端已交付用户使用, 在近 1 年的系统联试中, 工作正常。

* 收稿日期: 2011 - 03 - 01; 修回日期: 2011 - 05 - 10

2 低噪声接收前端设计

2.1 接收前端电路原理

Ka频段接收前端对接收到的微弱射频信号进行放大,再下变频到C频段中频信号后放大输出。

接收前端主要技术指标见表1。

表1 接收前端主要技术指标

Table 1 Technical parameters of receiver front - end

指标	值
射频输入频率	Ka频段
中频输出频率	C频段
射频带宽/GHz	0.8
接收噪声系数/dB	≤2.4(常温) ≤2.8(全温)
接收增益/dB	≥60
带内幅频特性	≤1.2 dBp - p@800 MHz
工作温度/℃	-45 ~ +75
输入接口	WR28
输出接口	SMA

根据多级器件噪声系数公式^[1]可知,第一级低噪声放大器的噪声性能将直接影响接收前端的噪声系数,而前级低噪声放大器较高的增益可以降低后级电路对总噪声系数的影响。

依据上述原理,对表1各项指标进行综合分析,设计接收前端电路见图1。

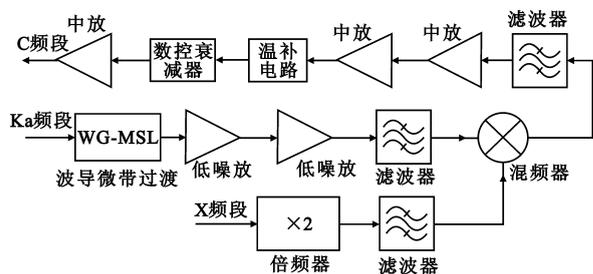


图1 接收前端原理图

Fig.1 Schematic diagram of receiver front - end

2.2 低噪声电路设计

为了降低接收前端噪声系数,可采取以下手段:

- (1)设计低损耗的波导微带过渡;
- (2)降低低噪声放大器前的连接损耗;
- (3)选用低噪声系数、高增益的放大器;
- (4)降低接收前端工作环境温度。

降低工作环境温度可以有效降低器件的噪声,但冷却系统尺寸和功耗较大,常用于无严格尺寸要求的系统,如深空探测等地面接收站,不适合于本项目。

2.2.1 波导微带过渡设计

波导微带过渡位于接收前端的最前级,其传输

损耗对接收前端的噪声系数有直接的影响。

如今的波导微带过渡形式多样,包含有脊波导过渡、探针过渡、鳍线过渡、同轴过渡等,其特性对比见表2。

表2 波导微带过渡特性对比

Table 2 Comparison of waveguide - to - microstrip

过渡形式	损耗	实现	尺寸	可靠性
脊波导	较低	简单	较大	较差
探针	低	简单	小	好
鳍线	低	简单	较大	好
同轴	低	较复杂	小	好

考虑接收前端接口位置、尺寸、可靠性等要求,本方案选择E面探针形式^[2]的波导微带过渡,微带基板采用0.127 mm厚度的RT/Duroid 5880。过渡的3D模型见图2。

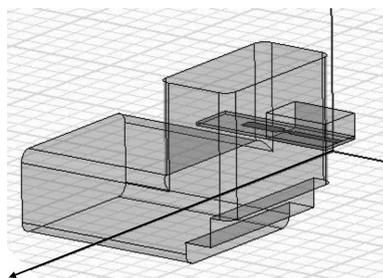


图2 波导微带过渡3D模型

Fig.2 3D - model of waveguide - to - microstrip

通过优化探针阻抗变量、短路面尺寸,获得最低传输损耗和最佳回波损耗。在波导进行90°转弯的反射端面采用了双台阶形式,提高了传输带宽,同时简化了结构设计。

图3为2个波导微带过渡背靠背测试数据。其中包含了12 mm的微带线,总损耗小于0.7 dB。在Ka频段,12 mm长RT/Duroid 5880微带线的损耗约有0.2 dB,因此单个波导微带过渡的损耗小于0.3 dB。

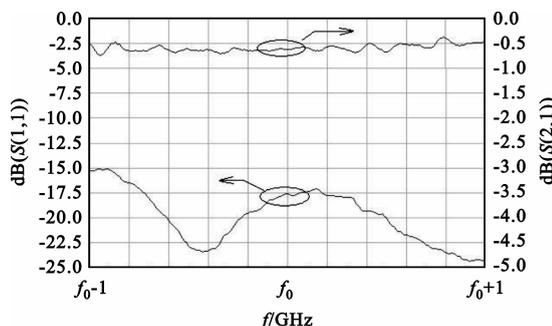


图3 2个波导微带过渡测试数据

Fig.3 Measurement result of two waveguide - to - microstrips

2.2.2 低噪声放大器电路分析

由多级器件噪声系数公式^[1]可知,前级低噪声放大器的噪声系数决定了接收前端的噪声系数,而放大器较高的增益可以削弱使后级电路对噪声系数的影响。因此接收前端包含了两级低噪放,第一级低噪放按最小噪声系数进行选择,第二级低噪放在兼顾噪声系数的同时,提供足够的增益,确保后级电路对总体噪声系数的影响最小。

国外已可生产噪声系数小于1.3 dB的 Ka 频段低噪声放大器,但仅限于客户定制。商用货架产品的噪声系数主要还是在2 dB左右。国内也仅可生产噪声系数为2 dB的 Ka 频段低噪声放大器。

通过器件对比,本方案选择了一款在本方案工作频段内噪声系数最低的低噪声放大器。器件的噪声系数指标见图4所示,工作频段内噪声系数小于1.8 dB。

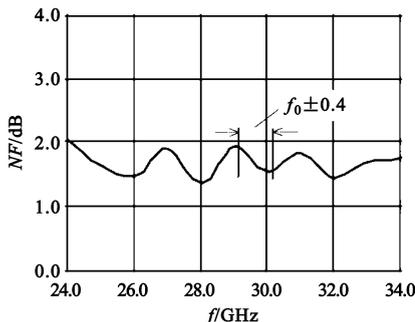


图4 低噪声放大器噪声系数指标
Fig.4 Noise figure of LNA

为了兼顾增益、驻波等指标,低噪声放大器芯片的匹配设计都不是最佳噪声匹配。根据这一特点,微调波导微带过渡电路,可以得到一定的噪声系数改善^[3,4],但在微调时必须注意驻波的变化。

接收前端工作在 Ka 频段,键合金丝尺寸,微带线尺寸所带来的影响已不能忽略不计了。对不同厚度微带线和不同键合数量金丝(25 μm 直径)进行传输损耗仿真。

分析仿真数据可知,提高键合金丝数量,降低微带线高度可以降低传输损耗。考虑 MMIC 低噪声放大器芯片的厚度为0.1 mm,射频输入、输出键合区尺寸为0.1 mm \times 0.1 mm,本方案采用0.127 mm的基片为微带传输线,输入输出采用为双金丝键合连接。

2.3 接收增益平坦度分析

影响接收前端增益平坦度的因素主要有几个方面:器件幅频特性的影响;器件驻波和级间匹配的影响;器件组装、连接的影响。

由图1可知,接收前端的接收放大、变频通道

上,级联器件多达十几个,器件带内幅频特性级联累计影响较大。因此在器件选择时必须注意:选择带内平坦的器件;成对选择带内幅频特性反向的器件。在器件环节确保带内平坦度满足要求。

射频滤波器的带内平坦度至关重要。本方案选择微带平行耦合线滤波器,在满足带外抑制前提下,对带内平坦度进行最佳优化。

Ka 频段,信号波长与电路尺寸接近,器件端口回波信号的迭加在极限条件下将导致平坦度恶化甚至自激。可通过衰减器来提高端口驻波较差器件的回波损耗,降低回波信号的迭加恶化影响^[5]。

3 接收前端组装和测试

接收前端电路为双面布局设计。结构腔体正面为射频电路,背面为低频供电、驱动控制电路,正反两面通过馈电绝缘子连接。

微带传输线直接焊接在局部镀银的铝腔体上。MMIC 芯片和微封装标贴器件采用导电胶直接粘接在腔体和微带线上。

为了抑制射频器件的信号辐射所导致的电路自激和杂波泄露现象,本方案设计了波导屏蔽腔对所有的射频电路进行屏蔽。波导屏蔽腔的尺寸经过仿真优化,对射频信号呈现波导传输截止状态。

完整的接收前端结构图如图5所示。

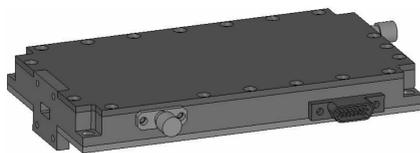


图5 接收前端结构图
Fig.5 Structure of receiver front - end

研制完成的3套接收前端的常温噪声系数和增益测试数据如图6所示。图7为1#接收前端的高低温条件下的噪声系数和接收增益测试数据。表3为1#接收前端常温工作条件下的完整测试指标。

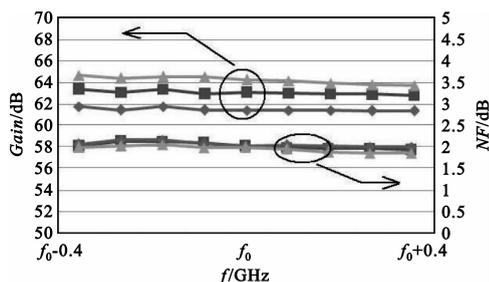


图6 3套接收前端测试数据
Fig.6 Measurement result of 3 receiver front - ends

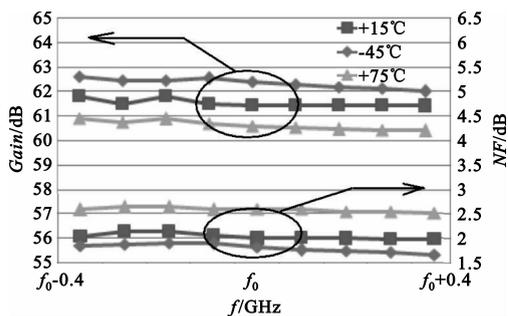


图 7 1# 接收前端的高低温测试数据

Fig. 7 Measurement result of No1 receiver front-end under high-low temperature

表 3 1# 接收前端测试数据

Table 3 Measurement of No1 receiver front-end

项目	测试值
噪声系数/dB	1.91 ~ 2.11
增益/dB	62.86 ~ 63.43
带内幅频特性/dB	0.57
中频输出 P_{-1dB} /dBm	19.90
衰减范围/dB	32.20
带内杂波抑制/dBc	72
带外杂波抑制/dBc	60
中频高次谐波/dBc	40.90
射频输入驻波	1.10 ~ 1.41
中频输出驻波	1.07 ~ 1.41
功耗/W	2.67

4 结 论

本文分析了影响接收前端关键指标的多种因素,采取相应优化措施并准确设计关键电路,在 Ka 频段实现了小于 2.2 dB 的低噪声系数。优化措施及电路设计同样适用于其它毫米波频段的接收前端设计。

参考文献:

[1] 甘仲民,张更新,王华力,等.毫米波通信技术与系统[M].北京:电子工业出版社,2003.
GAN Zhong-min, ZHANG Geng-xin, WANG Hua-li, et al. Millimeter communication technology and system[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. (in Chinese)

[2] Yoke-Choy Leong, Sander Weinreb. Full band waveguide-to-microstrip probe transitions[C]//Proceedings of 1999 IEEE International Microwave Symposium Digest. [S. l.]: IEEE, 1999: 1435-1438.

[3] James J-Sowers, Michael Willis, Thanh Tieu, et al. A space-qualified, hermetically-sealed, Ka-band LNA with 2.0dB noise figure[C]//Proceedings of 2001 IEEE GaAs IC Symposium on 23rd Annual Technical Digest. [S. l.]: IEEE, 2001: 156-161.

[4] Dong-Pil Chang, In-Bok Yom, Seung-Pal Lee. Development of a receiver downconverter module for Ka-band satellite payload[C]//Proceedings of 2003 IEEE International Conference on Microwave Symposium Digest. [S. l.]: IEEE, 2003: 1589-1592.

[5] 顾其铮.微波集成电路设计[M].北京:人民邮电出版社,1978.
GU Qi-zheng. Microwave integrated Circuit Design[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 1978. (in Chinese)

作者简介:

熊文毅(1976—),男,重庆忠县人,工程师,1999年于电子科技大学获学士学位,现为工程师,主要从事毫米波组件的开发研究工作。

XIONG Wen-yi was born in Zhongxian, Chongqing, in 1976. He received the B. S. degree in 1999. He is now an engineer. His research concerns millimeter wave module.

Email: xwy5233@gmail.com