

· 物理电子学 ·

毫米波高增益大功率收发组件研制

李桂萍, 徐 军, 罗慎独

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】 提出了一种可用于雷达的毫米波收发组件的实现方案。组件包括两个几乎完全相同的接收通道和一个发射通道,接收通道采用两次混频将毫米波信号变为50 MHz中频,而发射通道则采用两次上变频将50 MHz信号变为毫米波频段的信号发射出去。该文分析了收发组件的设计原理,讨论了组件方案选择,并给出了测试结果。收发组件的各项技术指标基本达到设计要求:在10 MHz的工作带宽内,连续波发射功率达1 W,接收机噪声系数小于4.5 dB,接收通道的净增益超过100 dB。

关键词 增益; 毫米波; 噪声系数; 输出功率; 收发组件

中图分类号 TN454

文献标识码 A

A Millimeter T/R Modules with High-Gain and High Power

LI Gui-ping, XU Jun, and LUO Shen-du

(School of Physical Electronics, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract A millimeter-wave transceiver with two-receiver ways and one-transmitter way is designed. It can be used for a millimeter radar. The frequency of the two-ways receiver is converted to 50 MHz from Ka-band by twice mixing. Whereas in the transmitter way, two up-converters make 50 MHz signal transfer to millimeter-wave band. Based on the analysis about the design principle of T/R module and various kinds of scheme, the transceiver is fabricated and tested. The performance of a power output of 1.0 W at Ka-band, a noise figure of 4.5 dB, a receiver gain of 100 dB is achieved.

Key words gain; millimeter-wave; noise-figure; output power; T/R modules

近年来,随着材料和半导体加工工艺的发展,使得研制更高频率、更小体积及更轻量度的器件和系统成为可能。特别是毫米波单片集成电路技术的出现,在保证技术指标的前提下,大大减小了系统的体积和重量。

毫米波具有频段宽、空间分辨率高、干扰和截获概率低、天线和设备尺寸小及穿透云、烟、尘土和雾的能力强等优点。因此,毫米波频段是目前军事电子技术发展的一个重要频段,广泛应用于卫星、导弹、航天飞机等。本文介绍了一种毫米波收发组件的实现方案,该组件的三个通道共用两个不同频率的本振源,要求体积小、重量轻、增益高,因此集成度高,设计难度较大^[1-2]。

1 收发组件的基本工作原理以及设计思想^[3-8]

图1是毫米波收发组件的原理框图,它主要由介

质滤波器、两个上混频器、放大器、高通滤波器、功率放大器等构成的发射通道,接收通道则由单刀单掷开关(single pole single throw, SPST)、低噪声放大器(low noise amplifier, LNA)、混频器、自动增益控制(automatic gain control, AGC)器件以及中频放大器等组成,组件还包括了将两个本振源的功率引入各个通道的功率分配器。

该毫米波收发组件包括两个基本完全一致的接收通道,只是由于两个接收通道信号输入的方向不同,因而分别采用E面探针型和对极鳍线型波导——微带过渡。其工作原理是接收通道接收到从天线发射来的微弱信号,经过SPST,放大后与本振1进行二次谐波混频;混频后的信号经过波珠穿到腔体的另一面,进行中频放大、二次混频、AGC控制及末级放大后输出50 MHz的中频信号。当接收通道接收的信号比较强时,可能会使得系统中的某些器件处

收稿日期: 2006-06-12; 修回日期: 2006-12-05

基金项目: 部级预研基金

作者简介: 李桂萍(1974-),女,硕士,讲师,主要从事毫米波元器件及系统方面的研究。

于饱和状态,甚至可能使其击穿而导致整个系统无法工作,在这种情况下,可以通过控制电路改变AGC器件的电流,从而对信号进行衰减而达到使整个接收通道正常工作的目的。为了提高接收通道的接收灵敏度,毫米波信号采用了两级低噪声放大器,而在LNA前的SPST是为了防止发射通道工作时的漏信号将LNA软激穿。对于发射通道而言,由于第一次上变频的和频信号、差频信号以及本振信号的频率很接近,因此采用了通带窄、带外抑制性好的介质滤波器,以达到提高发射通道性能、抑制杂波的目的。滤波后的干净频谱经过放大后,通过波珠穿到RF电路面与经过倍频放大的本振1的信号进行上变频后,再经过滤波、放大后进入功放后从波导输出。由于功率放大器输出功率为1 W时要求的驱动功率在15 dBm以上,为此在功率放大器前边加了一级

中功率放大器作为驱动级。由于组件实际上工作于脉冲状态,因此在驱动放大器前边加了一个SPST开关,用TTL电平控制将连续波转换为脉冲。为了减小整个组件的直流功耗,驱动放大器和功率放大器与其他器件采用不同的电源,通过电源TTL控制,使得组件工作在接收状态时,功放不工作,这样既减小了组件的直流功耗,又降低了发射通道信号耦合到接收通道而对接收通道性能的影响;同时在组件实施方案中,根据具体的频率及器件情况,对于毫米波段的信号,接收通道采用了二次谐波混频;而发射通道则采用了将本振1先倍频放大之后再行基波混频的方案,这样既可以降低组件的直流损耗,又解决了由于和频信号与差频信号及二倍本振信号频率太近导致高通滤波器设计难度大的问题。

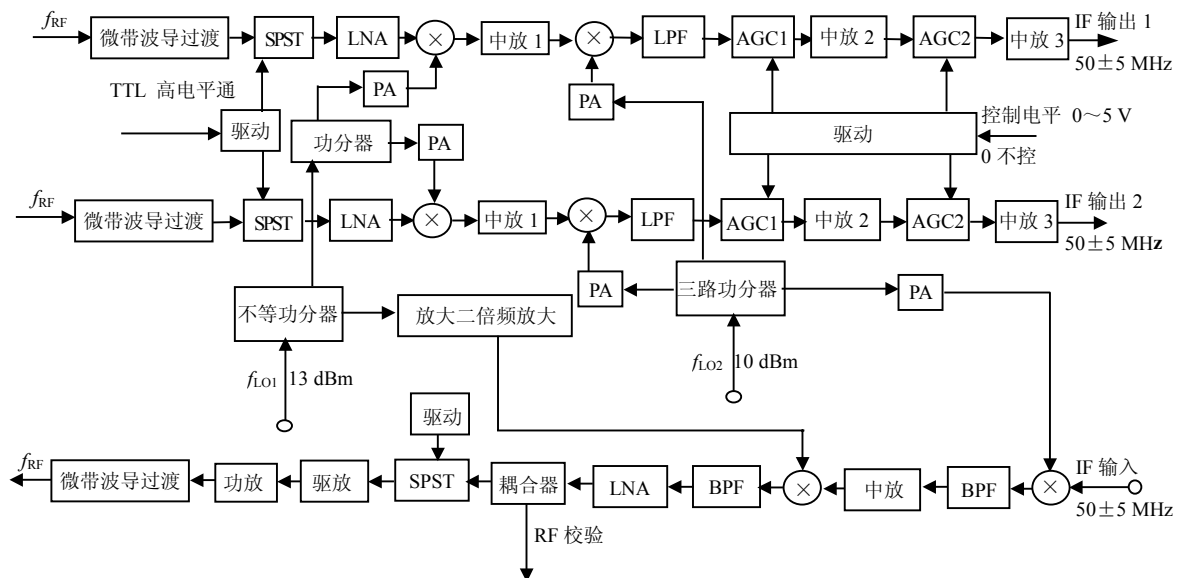
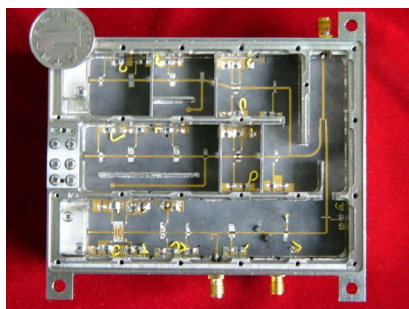


图1 毫米波收发组件原理框图

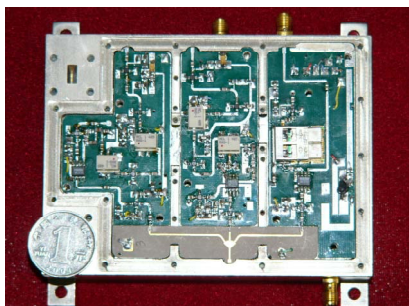
2 收发组件的电路布局

该收发组件由于采用了两次混频的方式,包括了三个不同频率的工作段,如何合理安排各个频率段的增益以及如何将如此众多的元器件合理地排列在 $120\text{ mm}\times 110\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ 腔体内,是设计时必须重点考虑的问题。从制作成本来考虑,毫米波部分所用放大器数量越少成本越低。但是为了降低接收通道的噪声系数,毫米波信号部分的增益不能太低,因此综合考虑性价比,本文采用了在满足噪声要求的前提下,接收通道的增益主要集中在50 MHz频段的方案。由于该收发组件具有增益高、输出功率大、器件众多等特点,因此电磁兼容问题是设计考虑的难点。为了尽量减小腔体体积,并降低组件中各频

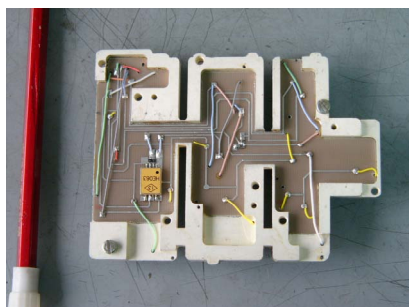
率间的相互干扰,更好地解决电磁兼容问题,本文采用了独特的三层电路的结构形式。毫米波电路、中频电路和控制电路分别位于不同的电路层,可大大降低各个电路间的互耦、串扰等问题,而且也便于分段调试。同时为了降低同一频段信号间的干扰,在腔体结构上增加了隔板,而且在接收通道二次混频的前后都增加了滤波器,以达到消除杂波的目的。增加滤波器的主要原因是由于所使用的中频放大器的工作频带较宽,本振2和第一次混频后的信号频率都在其放大工作带宽内;而且在该频段放大总增益很高,如果不采取滤波措施,则这些杂波信号漏过去后足以使50 MHz放大器达饱和而无法正常工作。整个组件的实物照片如图2所示。



a. 毫米波电路图



b. 中频电路图



c. 控制电路图

图2 毫米波T/R组件实物照片

3 收发组件主要技术指标及测试结果

组件的主要技术指标如下：工作带宽为10 MHz，功耗 ≤ 20 W， $P_{LO1} \leq 13$ dBm， $P_{LO2} \leq 10$ dBm，收、发开关隔离度 ≥ 30 dB；接收通道为中频频率50 MHz，噪声系数 ≤ 5.0 dB；输入信号动态范围为 $-100 \sim -45$ dBm，系统增益 ≥ 90 dB，两接收通道间隔离度 ≥ 40 dB，AGC控制量 ≥ 50 dB，接收通道幅度一致性为 ± 0.3 dB；发射通道为输出功率 ≥ 500 mW。

本文对制作的Ka波段全集成T/R组件进行了调试及测量，接收通道的测试结果如表1所示。测试条件为： P_{LO1} 为10 dBm； P_{LO2} 为8 dBm； P_{RF} 为 -95 dBm。

发射通道在输入0 dBm的50 MHz信号、第一和第二本振分别为10 dBm和8 dBm时，测试的输出毫米波功率为1.0 W。由于 $2f_{LO1}$ 、 $(2f_{LO1}-f_{IF})$ 和本文所需要的和频信号 $(2f_{LO1}+f_{IF})$ 的频率很接近，分别相差1.05 GHz和2.1 GHz，因此在发射通道增加了一个介

质滤波器。其作用就是抑制2倍本振1的漏信号和差频信号频率进入功放，而保证发射信号的频谱纯度，测试结果为差频和二倍本振信号比和频信号分别低42 dB和41 dB。组件在连续波工作情况下，测得直流情况为10 V/1.4 A、5 V/1.4 A，因此组件在连续波工作状态下的直流功耗为21 W。综上所述发射通道完全符合设计要求。为了减小组件的重量，采用硬铝作为腔体材料，最后测得整个组件的重量为480 g。

表1 接收通道的测试结果

测试指标	通道1	通道2
增益/dB	100.0	102.0
10 MHz带宽内的增益平坦度/dB	± 0.8	± 0.5
噪声系数/dB	4.2	4.5
开关隔离度/dB	37	55
与通道1隔离/dB		> 50
与通道2隔离/dB	> 50	
AGC控制/dB	2~62	7~70
控制电压范围/V	3.0~4.5	

4 结束语

本文介绍了一种毫米波全集成高增益收发组件的实施方案，并实际制作了原理样机，对其进行了调试及测量。测试结果表明组件的各项技术指标基本达到了设计要求，很好地解决了由于增益高、器件多而带来的电磁兼容问题。在测量过程中发现该组件存在自动增益控制线性度不好、且两个接收通道的AGC一致性较差的缺点，这主要是由于目前AGC器件在该频段的最大控制量是40 dB，而组件需要大于50 dB的控制量，因此本文采用了两个AGC器件级联的方式，且它们共用一个控制信号而引起的。如果采用控制量大于50 dB的器件或数字式自动增益控制器件就可以较好地解决这个问题。

参考文献

- [1] 薛良金. 毫米波工程基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [2] 言华. 微波固态电路[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995.
- [3] JIA Sheng-hong, LANCASTER M J. Microstrip filters for RF/microwave application[M]. London: A Wiley-Interscience Publication, 2001.
- [4] RASCOE D L, RILEY A L, HUANG J, et al. Ka-band MMIC beam-steered transmitter array[J]. IEEE MTT, 1989, 37(12): 2165-2168.

(下转第308页)

写命令,如速度参数设定、插补终点设定、减速点设定、限位寄存器设定等。(2)数据读命令,如速度/加速度读出、实位计数器读出等。(3)驱动命令,主要用于单轴的驱动。(4)插补命令,驱动命令和插补命令只是单个的指令,而非最终提供给用户的插补驱动函数。基本命令层识别应用层传来的各种命令,将其中的数据参数转化成芯片指定的格式,并进行有效性检查。一旦检查成功,便按照相应的规则将命令解释为一系列的寄存器读写操作,交给寄存器读写层去完成。

1.4 应用层

应用层向用户提供最终的功能,主要包括运动控制器初始化与关闭、定量/连续驱动、单段直线/圆弧插补、连续插补、位模式插补等。用户只需在应用层提供的函数中,设定驱动或插补的起点与终点、速度与加速度、加减速方式等参数,便可以实现机床的运动控制。应用层接收来自用户程序的调用,按照相应规则转化为基本命令序列,再交给基本命令层去完成。

2 驱动程序的创建结果

内核支持层被成功地编译和连接后,会生成一个*.sys文件,一般将它放到\WINNT\System32\Driver目录下,然后创建相应的注册表键,使其运行在内核模式下等待调用。驱动程序的上三层被封装到动态连接库中,供应用程序直接调用。驱动程序向用户提供三个层次不同级别的引出函数,用户既可以直接调用最终的应用层函数,直接服务于数控

系统,又可以调用低层的基本功能,对运动控制器进行再次开发,以满足特殊的需求。

3 结束语

本文阐述了Windows2000下运动控制器驱动程序的开发过程;提出了驱动程序分层模块化的设计思想,并对内核模式下的端口读写进行了分析;以Visual C++6.0和DriverWorks为工具,开发出了GD102运动控制器驱动程序。

参考文献

- [1] 何航. Windows2000下开放式数控系统软件设计与研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
- [2] 张敏, 王晓明. 基于Windows2000的开放式数控系统中WDM驱动程序的开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2002, 11: 52-55.
- [3] BAKER A, LOZANO J. Windows2000设备驱动程序设计指南[M]. 施诺, 译. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [4] 王峰博, 崔慧娟. WDM设备驱动程序的研究及实现[J]. 计算机应用, 2003, 23(6): 98-100.
- [5] 武安河, 邵铭, 于洪涛. Windows2000/XP WDM设备驱动程序开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [6] 郭艳, 苗克坚. Windows2000下WDM驱动程序的研究与开发[J]. 计算机工程, 2006, 22: 266-268.
- [7] 刘伟. 基于WDM模型的USB设备驱动程序开发[J]. 情报杂志, 2006, 5: 78-82.
- [8] 李维民, 瞿安连. WDM设备驱动程序开发中的若干问题[J]. 微计算机信息, 2005, 15: 123-125.
- [9] 彭寿全, 宋杰, 严海锦. UNIX设备驱动程序的剖析与实例[J]. 电子科技大学学报, 1998, 27(1): 78-82.
- [10] 李盛, 张扬. 嵌入式通信设备驱动程序设计标准化. 电子科技大学学报, 2005, 34(3): 355-358.

编辑 黄莘

(上接第250页)

- [5] WILLEMS D A. Multifunction small-signal chip set for transmit/Receiver modules[J]. IEEE MTT, 1990, 38(12): 2007-2015.
- [6] 李超. Ka频段集成前端[D]. 成都: 电子科技大学, 2001.
- [7] LAVEDAN L J. Design of waveguide-to-microstrip transitions specially suited to millimeter application[J].

Elctron Lett, 1977, 13(20): 604-605.

- [8] SHIH Y C, TON T N, BUI L Q. Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter-wave applications[C]//IEEE MTT-S, 1988. [S.1.]: IEEE, 1988.

编辑 税红