文章编号:1001 - 893X(2011)06 - 0130 - 04

平面一体化集成 Ka 频段卫星通信终端 ODU 设计*

杨 萍

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:介绍了一个 Ka 频段卫星通信终端室外单元(ODU)的平面一体化集成设计技术。通过采用电路和结构的平面一体化集成技术、整体水密性设计和基于热仿真的散热优化设计,实现了设备的小型化、轻重量和低功耗。最终完成了两套样机研制。测试样机的技术指标满足设计要求,发射功率大于33 dBm,噪声系数小于2.4 dB(常温),体积小于130 mm × 90 mm × 30 mm,重量小于750 g。研制结果表明,ODU 一体化集成技术可行,能满足工程应用需要。

关键词:卫星通信;Ka 频段终端;室外单元;一体化集成设计

中图分类号:TN928 **文献标识码**:A doi:10.3969/j.issn.1001 - 893x.2011.06.029

Design of a Planar Integrated Ka - band ODU for Satellite Communication Terminals

YANG Ping

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

Abstract: The design of a planar integrated Ka-band ODU(Outdoor Unit) for satellite communication terminals is described. In order to realize small size, light weight and low power consumption of the equipment, planar integrated technologies are adopted in the design of the circuits and structures of ODU. Two prototypes are fabricated. The technical indexes of the samples satisfy the design requirement. The output power is more than 33 dBm. The noise figure is less than 2.4 dB at room temperature. The size is less than 130 mm × 90 mm × 30 mm. The weight is less than 750 g. The test results demonstrate the technology is valid and can meet the engineering applications.

Key words: satellite communication; Ka - band terminal; outdoor unit(ODU); integrated design

1 引 言

近年来,随着卫星通信技术的发展,小型卫星地面站(VSAT)天线口径小、结构紧凑、固体化、安装方便、对使用环境要求不高和组网灵活等特点,给人们的工作和生活带来了极大的便利,越来越受到人们的青睐,同时对 VSAT 的轻小型化也提出了较高的要求。

室外单元(Outdoor Unit,ODU)作为 VSAT 的重要组成部分,其轻小型化和低功耗设计尤为重要。室外单元主要包括固态功放(SSPA)、低噪声放大—变频组件(LNC)、上变频组件等,其主要作用是完成信号的变频、滤波以及放大。

现在,VSAT 的主要工作频率是 C 频段和 Ku 频段,但是该频段的工作带宽和速率的需求已经远不能满足人们的使用需求,所以 Ka 频段通信在 VSAT 通信中具有更大的吸引力。同微波频段相比,它更有利于实现产品的小型化。

毫米波通信系统已经成为许多发达国家宽带无线通信产品的关键技术,在国外毫米波系统中,Ka

* 收稿日期:2011 - 03 - 21;修回日期:2011 - 05 - 16

频段在 VAST 上已经得到了广泛的应用[1]。

国内毫米波通信系统,特别是 Ka 频段的应用,起步较晚,与国外同类产品相比还有差距,但是相关的工作已经逐步展开。

本文介绍了平面一体化集成 Ka 频段卫星通信终端室外单元(ODU),该设备特别适合于对轻小型化和低功耗有要求的卫星通信系统使用。本设备的平面一体化集成设计难点在于平面电路一体化设计、热设计、电磁兼容设计、水密设计和结构设计等。

2　ODU 电路设计

2.1　电路工作原理

ODU 主要由 RF 电路、本振电路、监控和 DC/DC 电路等组成,组成框图如图 1 所示。其工作原理是:中频信号经分路器和上变频电路变频至 Ka 频段,再经功放产生发射功率输出至天线;来自接收天线的信号,经发阻滤波器、低噪声放大、镜频滤波和混频后,变为中频信号,然后经分路器输出。

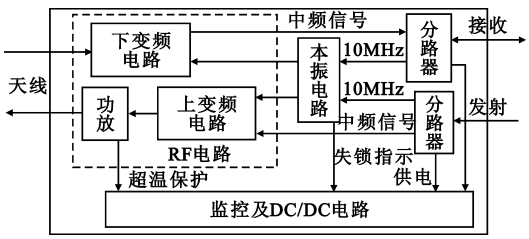

图 1　ODU 组成框图
Fig.1 Block diagram of ODU

RF 电路包括上变频电路和下变频电路两部分:上变频电路主要包括混频器、驱动放大器、射频滤波器、末级功率放大器、波导微带过渡等;下变频电路主要包括低噪声放大器、混频器、射频滤波器和中频放大器等。

末级功放采用单片集成固态功放,通过合理地散热,保证功放长期可靠工作。

为达到良好的噪声系数,对波导微带探针过渡进行优化设计[2],其插入损耗可低于0.2 dB。第一级放大器的噪声系数基本上就决定了整机的噪声系数,因此第一级低噪放器件的选择尤为重要。由于现有的 MMIC 芯片满足不了噪声系数的要求,所以我们选用合适的管芯,并对它做了最佳噪声匹配的设计。所选用的器件指标是:第一级放大器噪声系数1.6 dB,增益15 dB;第二级放大器噪声系数2 dB,增益20 dB;第三级放大器噪声系数2 dB,增益15 dB。第一级放大器经最佳噪声系数匹配后,在所要求的频段内噪声系数仿真结果均小于1.5 dB。

变频混频器采用谐波混频器,它可以实现混频分量中偶次组合波(包括本振和中频偶次谐波)的良好抑制,一般可达60 dB以上,同时降低了本振频率。

收发分路器将主机通过两根电缆馈入的收发复用信号用滤波器进行分离。其中,收发直流电源信号分离后分别送到收发 DC/DC 变换电路,为设备中的有源器件提供稳定直流电压。

ODU 对外接口简单,共有 4 个接口:一个 BJ320 波导(发射)、一个 BJ220 波导(接收)、两个 N 型头接口。其中,一个 N 型接口用于接收中频信号、参考信号和直流电源的复用,另外一个 N 型接口用于发射中频信号、参考信号和直流电源的复用。

2.2　关键技术

2.2.1　ODU 平面一体化集成技术

(1) RF 电路一体化集成设计

为了实现 RF 电路平面一体化集成设计,减少设备的体积重量,RF 中所有的元件均采用表贴元件,所有电路均采用平面集成电路。

发阻滤波器、收发射频滤波器均采用陶瓷基片薄膜或软基片微带滤波器,该滤波器具有体积小、低损耗、频率选择性好等特点。虽然较波导滤波器损耗略大,但是易于实现电路平面集成,有利于电路的小型化。

选择合适的波导微带探针过渡形式,既保证了良好的噪声系数和电路布局的紧凑型,又易于设备的整体水密设计和热设计。

(2)本振电路一体化集成设计

为了实现本振电路的集成化设计,减少设备的体积、重量和功耗,采取了以下措施:用谐波混频取代基波混频,大大降低毫米波本振电路设计的难度和成本,降低电路对本振抑制度的要求,减小设备体积功耗,提高了设备的可靠性;选择合理的倍频锁相方案,采用 CRO 加倍频的方式取代体积和功耗都较大的 DRO;用微带滤波器取代本振电路中常用的腔体滤波器。

(3)监控及 DC/DC 电路一体化集成设计

在射频有源器件的选择上,尽量采用供电电源电压相近的器件,减少 DC/DC 的种类;用效率较高、体积较小的表贴的器件取代标准电源模块,并且通过加强电源滤波,实现设备的 DC/DC 变换,从而减小设备的体积和重量,增加设备的可靠性。

2.2.2 功放线性化技术

毫米波固态功率芯片的三阶互调指标,不能满足本设备所要求的技术指标要求。若采用输出功率更大的芯片或将多个芯片进行功率合成提高输出功率,再进一步回退功率,可满足三阶互调指标要求,但势必会成倍增加体积重量功耗,这显然不符合设备低功耗、轻小型化的设计原则;而采用功放线性化技术,只需略微增加一点功耗,则可较大改善功放线性度,尤其是三阶互调的指标。

线性化技术的方案有很多,如:功率回退法、预失真[3]、负反馈、前馈[4]等。在本设备研制过程中,从技术指标和设备平面一体集成化设计考虑,选用了预失真的方法。它具有电路尺寸小、稳定度高的特点,虽然其校准精度不如前馈法和负反馈法,但却更稳定并且有着更宽的带宽。

对功放芯片采用了预失真之后,发射链路的三阶互调指标显著改善。未采用线性化技术时,功放三阶互调最差为 -15 dBc;采用线性化技术后,功放三阶互调最差为 -22 dBc,三阶互调改善了至少 7 dB以上,满足了系统指标要求。

2.3 电磁兼容设计

设备中频率种类较多,所以设备内各功能电路之间的屏蔽就尤为重要。如果屏蔽不好就会导致信号泄露,使得带内出现杂散和引起电路自激。为此,我们采取以下措施:

(1)各功能电路加强屏蔽,防止信号串扰;

(2)仿真优化波导屏蔽腔尺寸,对射频信号呈现波导传输截止状态;

(3)保证腔体上下腔紧密接触,防止信号泄露;

(4)各功能电路对输入直流和低频控制信号进行充分滤波和隔离设计,避免信号串扰;

(5)合理布局,避免电路环形布局,以免信号泄露造成电路自激。

3 ODU 结构设计

ODU 结构采用上下腔设计技术,上腔主要用于满足电路的电磁兼容设计,下腔主要用于布局电路。

上腔采用整腔结构设计取代传统的分腔结构设计,即所有不同的功能电路都位于同一个腔体内,避免了高低频插座和电缆的使用,减小了设备的线损,利于设备的平面集成一体化设计,同时降低了设备的体积、重量和功耗,增加了设备的可靠性。

下腔在电路布局上采用双面布局设计。RF 电路、本振电路和分路器位于腔体正面,监控及 DC/DC 电路位于腔体的背面,正反两面电路通过绝缘子连接。所有腔体正面的基片安装均采用直接焊接在腔体上的方式,避免了螺钉的使用;毫米波芯片和表面贴装器件用导电胶分别直接粘接在腔体和微带线上。这样使得电路布局更加紧凑,减少了螺钉的个数,降低了设备的体积、重量和功耗,实现了设备的轻小型化和低功耗。

依据下腔电路布局,把上腔分成多个屏蔽小腔。通过上下腔的紧密接触,防止杂波信号的泄露,满足设备的电磁兼容要求。

通过以上结构措施,实现了结构的平面一体化集成。

设备要满足浸渍实验要求,因此必须采用水密。由于整个设备具有对外接口简单和平面集成一体化的特点,非常有利于水密设计。通过下腔采用深腔设计、上下腔之间采用防水密封圈、防水接插件和在各波导接口加防水密封圈的措施可以达到水密的要求。

4 ODU 热管理设计

设备的水密结构使得设备的散热能力下降,必须通过合理的散热措施保证设备连续工作的稳定可靠性。

功率器件是多数电子设备中的关键器件,其工作状态的好坏直接影响整机可靠性。功率芯片的性能受温度影响很大,温度过高将导致性能严重下降,主要表现为增益、输出功率下降,同时还会缩短使用寿命,当芯片结温超过其典型值时,每升高 8℃,芯片平均失效时间将降低一倍,若结温超过芯片所能承受最大范围,芯片将短时间内烧毁。

由于毫米波芯片的体积都十分小,散热面积有限,热量分布集中,同时受到制作工艺、技术手段等限制,目前毫米波单片放大器效率不高,特别是 Ka 频段功放芯片,一般在 15% 以下,功耗较大。因此功放芯片必须有良好高效的散热设计。

为了改善功放芯片的散热,一般将器件与设备外壳之间用实体金属作为传热体,并尽量减薄,缩短传热路径。在本设备中,为了更好地散热,直接把与功放器件对应的设备外壳部分加工成散热齿,并喷聚氨酯丙烯酸无光黑漆,以提高辐射能力。

在环境温度为 55℃时,通过数值仿真得到末级功放芯片的安装面的温度为 65.0℃。基座温度仿真曲线见图 2。

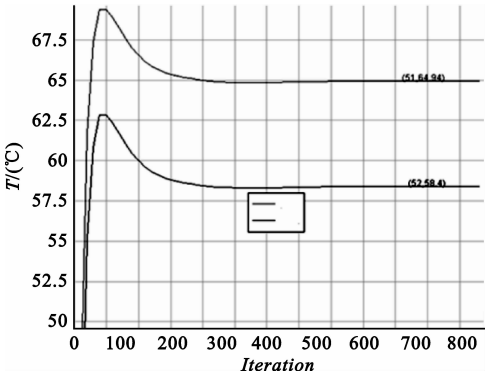

图 2　基座温度仿真曲线图
Fig.2 Computed temperature of the baseplate

假定热量几乎全部从安装面传走的情况下:末级功放的沟道温度为(对应的功放芯片沟道至基座热阻为2.5 K/W,发热量为16 W):65.0 + 2.5 × 16 + 1.5 × 16 = 129℃,低于芯片所允许的 150℃的允许最高工作结温,可保证功放及驱动放大器在高温环境下安全连续工作。

最后,设备通过了高温环境实验,证明热设计是有效的。另外,为了防止超温引起功放芯片的损坏,在监控板中增加了功放超温切断电源的功能。采用这些措施后,可以实现收发信机的良好散热,保证设备在给定的温度范围内连续稳定工作。

5　实物研制与测试结果

根据以上设计方案,研制出了两套设备,图 3 为实物图。其测试结果如下:

上行频率:Ka 频段,带宽 1.6 GHz;
下行频率:K 频段,带宽 1.6 GHz;
中频频率:S 频段;
工作方式:连续波;
发射机输出功率 $P_{-1\,dB}$: > 33 dBm;
发射机三阶互调: < − 22 dBc;
接收机噪声系数: < 2.4 dB(常温);
体积:130 mm × 90 mm × 30 mm;
重量:750 g;
功耗:34 W。

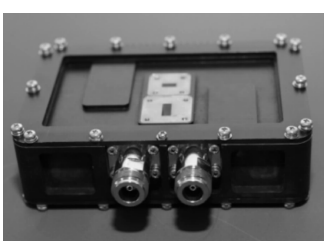

图 3　ODU 实物图
Fig.3 Picture of ODU

该设备各项指标均处于当前国内领先水平,但与国外同类产品相比,本设备小型化指标与国外产品相当,但是发射功率、噪声系数和三阶互调指标比国外产品要差一些,主要是因为国外产品带宽较窄,带宽只有500 MHz,而本设备带宽是1.6 GHz。如果是相同带宽的话,除了噪声系数和功耗之外,本设备的其余指标均与国外产品指标相当。

6　结　论

本文介绍了集成一体化小型 Ka 频段卫星通信终端 ODU 的设计,并给出了实物测试结果。该设备具有指标先进、体积小、重量轻和功耗小等特点,在通信等领域具有良好的应用前景。该设备各项指标处于国内领先水平,但与国外同类产品相比,个别指标还有些差距。下一步要改进的有:进一步优化设备指标,并进一步提高电路的集成化水平。

参考文献:

[1]　Li De - zhong, Wang Cong, Huang Wen - cheng, et al. A high - power Ka - band power amplifier design based on GaAs P - HEMT technology for VSAT ODU applications [CJ]//Proceedings of the 3rd IEEE Internatioal Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications. [S.l.]: IEEE, 2009: 20 - 23.

[2]　黄建. 波导 - 微带探针过渡 CAD 技术[C]//2003 年全国微波毫米波会议论文集. 北京:电子工业出版社, 2003: 138 - 141.
HUANG Jian. CAD of waveguide - microstrip probe transitions[C]//Proceedings of Microwave and Millimeter Wave Symposium. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 138 - 141. (in Chineses)

[3]　Jeng - Han Tsai, Tian Wei Huang. A Novel SiGe BiCMOS Variable Gain Active Predistorter Using current steering Topologies [C]//Proceedings of IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium. Forth Worth, TX: IEEE, 2004: 559 - 562.

[4]　Hickson MT, Paul DK, Gardner P, et al. High Efficiency Feedforward Linearizers[C]//Proceedings of the 24th European Microwave Conference. Cannes, France: IEEE, 1994: 819 - 824.

作者简介:

杨　萍(1972—),女,山西祁县人,分别于 1995 年和 2001 年获电子科技大学工学学士和硕士学位,现在为工程师,主要从事毫米波电路设计。

YANG Ping was born in Qixian, Shanxi Province, in 1972. She received the B.S. degree and the M.S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 1995 and 2001, respectively. She is now an engineer. Her research concerns millimeter wave circuit design.

Email: zlyang006@sina.com