

文章编号:1001-893X(2012)06-0960-04

Ka 频段收发组件模块化设计技术*

成彦

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:研究了 Ka 频段收发组件模块化设计技术,探索了具有通用化、小型化、系列化特性的 Ka 频段收发组件高效设计开发模式。通过毫米波收发组件功能分析,完成了模块体系规划和标准模块系列开发,并设计了新型模块接口和连接件。采用标准模块实现了收发组件模块化设计,验证了模块体系的有效性和模块化设计方法的可行性。研究表明,模块化设计技术在毫米波收发组件高效率开发中具有广泛应用前景。

关键词:Ka 频段;毫米波收发组件;模块化设计

中图分类号:TN802 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.06.026

Modularization Technique for Ka-band Transceiver

CHENG Yan

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

Abstract:The modularization design technique for Ka-band transceiver is studied. And a high efficient design pattern for universal, small-scaled Ka-band transceiver is discussed. Through analysing the functions of millimeter wave(MMW) transceiver, a systematic rule is created and standard module is developed. Small-scaled interface of the module and a new connector are designed, too. The modularization design for transceiver is realized by adopting standard modules, which verifies the effectiveness of systematic rule and the feasibility of modularization design. All this resarches prove that modularization design can be widely used in high efficient exploration of MMW transceiver modules.

Key words:Ka-band; millimeter wave transceiver module; modularization design

1 引言

模块化(也可叫组合化)是在对一定范围内的不同产品进行功能分析和分解的基础上,划分并设计、生产出一系列通用模块或标准模块,然后从这些模块中选取相应的模块并补充新设计的专用模块和零件一起进行相应的组合,以构成满足各种不同需要的产品的一种标准化形式,是一种先进的系统科学技术渗透到标准化领域形成的标准化方法。模块化设计方法是将模块化引入设计,着重解决产品品种、规格与设计制造周期、成本之间制约关系的现代化

设计方法^[1-2]。随着毫米波技术广泛应用于雷达、通信、电子战等领域,不同系统对收发组件技术指标、接口、结构和安装要求变化大。按传统的一体化设计模式对每种型号单独开发,存在研制时间长、成本高、调试困难、可靠性差等问题。采用模块化技术进行组件设计可提高技术成熟度,缩短开发周期,节约成本。本文对 Ka 频段收发组件进行模块化设计探讨,以功能独立性为主建立模块体系,划分标准模块,进行模块系列化开发,以及小型化接口和连接件设计。最后按模块化方法快速研制出功能复杂的收发组

* 收稿日期:2012-01-20;修回日期:2012-05-23

件,验证了模块体系的有效性和模块化设计方法的可行性。

2 Ka 频段收发组件模块化体系

Ka 频段收发组件应用领域宽、平台多,不同系统战技术指标和体制均有较大差异;模块体系划分做到科学合理十分困难,需运用模块化基本理论并融合 Ka 频段组件自身特点进行。模块化包含两个基本过程:一是由产品分解并开发出通用模块的分解过程;二是采用通用模块组合成新产品的过程。模块体系的建立可用图 1 所示流程表示^[3]。需求分析必须做到全面细致,划分的模块才具有通用性。功能分析和模块划分是建立模块体系过程中最关键的环节,应以结构为载体,功能独立性为主,模块大小适中为原则进行划分。设计系列化模块时需考虑各种需求,对某些关键指标按一定数系进行划分,形成一定系列。根据模块互联情况开发接口和专用连接件。模块库可供用户选用开发新产品,最后根据用户所反馈的使用情况,改进模块性能。

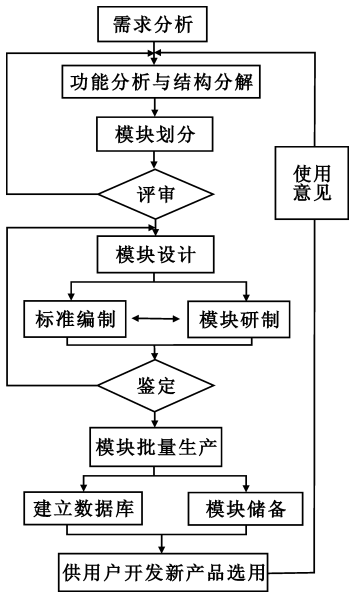


图 1 模块体系建立过程
Fig.1 Foundation of module system

2.1 功能分析和模块划分

Ka 频段收发组件主要应用在雷达、导引头、通信、电子战等领域。不同领域系统对组件战技指标、接口、结构、安装和环境条件等均不同。要使模块体系能满足各种应用,需求分析必须翔实、全面。需求一部分来源于已经研制成功和正在研制的项目,另一部分来源于国内外其他单位的市场需求以及对未

来发展趋势的预测。

进行功能分析和结构分解时,为了提高模块通用性,减少模块种类,可借鉴武器装备研制中基本型派生的思路^[4]。收发组件处于系统射频最前端,核心功能是上、下变频。混频器工作频带宽,通用性强,可划为一类通用模块。接收端主要功能是低噪声放大,其本身具有功能独立性、通用性和一定的市场需求,将低噪放也划分为一类通用模块。发射端主要功能是功率放大,也具有一定市场需求,还可作为大功率的前级驱动,划为一类通用模块。低噪放在射频最前端,易受泄漏功率影响导致损坏,划为独立模块也能方便维修更换。大功率市场需求旺盛,且由于功耗大,结构特殊,只能独立设计,划为一类通用模块。最后形成接收低噪放模块、发射驱动放大模块、混频模块、功放模块四大类通用模块。在新研产品时只靠通用模块组合无法完全满足功能要求时,可根据情况补充设计专用模块。

2.2 模块结构设计

结构是实现模块功能的载体,设计不合理,会导致模块间不易组合。结构设计时应考虑模块机械特性和结构布局、连接、安装等空间关系,注重通用化、小型化。保证模块外部接口统一,功能传递准确,性能可靠,模块间配合自如。为了提高模块通用性和扩展性,还应预留部分冗余设计的空间和接口。

模块布局时通常正面走高频电路,背面布低频印制板。在满足电路排版要求的情况下,模块外形尺寸和接口须尽量统一。最后模块尺寸统一为 40 cm×25 mm(或其倍数)×11 mm。

2.3 接口设计

模块化产生的显著问题是接口数量增多,连接损耗增加,高频段尤其显著。射频接口采用 BJ320 波导,这种方式连接可靠,能有效滤除各种低频杂波干扰。为了降低连接损耗,需研究低损耗接口电路,采用微带波导过渡结构。过渡探针最后测试结果为插损小于 0.2 dB,驻波小于 1.5。

本振和中频等 18 GHz 以下频率接口采用绝缘子焊接方式。模块间互连时可直接搭接,单独使用时在绝缘子上加 SMA 接头即可。

模块低频接口采用微矩形连接器,此种连接器体积小,插拔方便,自带防插错功能。

3 系列化模块开发

系列化是从产品使用要求和发展规律出发,将

同一功能产品的主要参数或规格按一定的数系或要求作合理规划,并对其形式和结构进行简化和统一,使产品有序发展并形成一定的系列,以满足用户广泛需求的一种标准化形式^[3]。下面根据 4 类模块各自特点和应用出发来开发系列化产品。

接收低噪放模块工作频带一般可覆盖整个 Ka 频段,不同系统对低噪放指标要求不同的一般是噪声系数和增益,因此按这两个指标的不同来划分系列。分析各系统对这两项指标的要求,找出其分布规律,按合适的数系进行系列化。数系有 4 种:等差级数、等比级数和优先数系、E 数系、模数制数系^[3]。某些系统存在射频泄漏损坏低噪放的情况,此时需要在接收端加保护开关。有时还有温度补偿和增益控制等功能要求。为了提高模块通用性,简化模块种类,对模块做一定程度的冗余设计,加入这些辅助功能,使用时可根据实际情况保留部分辅助功能。

发射驱动放大模块主要指标有工作频率、 $P_{1\text{ dB}}$ 、饱和输出功率、小信号增益等。各系统一般对工作频率、 $P_{1\text{ dB}}$ 、增益的要求不同。划分模块系列时先按工作频率不同进行分段,再根据 1 dB 压缩点和增益的不同进行分档和系列化,以满足用户的各种需求。

发射驱动放大模块还有温度补偿、耦合、检波等辅助功能要求,为了提高其通用性,也需要做冗余设计。

混频模块主要实现窄带的双向混频、RF 带通滤波、中频低通滤波和本振倍频放大等功能。收发组件混频路数常见的有单通道、双通道和三通道,按通道数目可划分为这三类通用混频模块。特殊应用时比如辐射计也有用到十通道的情况,这种多路数的情况可通过多个单通道混频模块结合专用本振多路功分模块来实现。按本振和射频频率关系不同又可划分为基波混频、二次谐波混频、四次谐波混频 4 个系列。对几种通道情况分别开发基波和各次谐波混频模块。就形成了完整的系列,能基本满足应用需求。

上述 3 类模块结构类似,具有很好的通用性和组合性。

功放模块主要指标有工作频率、增益、饱和输出功率、功耗等。功放功耗大,发热量高,因此和另 3 种模块结构区别很大。功率要求大于 10 W 时,由多个功放单元合成得到更大功率输出。

4 连接件开发

连接件用于模块间、模块和外部接口的连接。连接件设计准则是小型化、可靠、拆装方便。考虑模块间各种组合可能,设计了两类连接件:一类是标准

连接件,用于模块单独使用;另一类是非标连接件,用于模块间互联。

5 收发组件模块化设计实例

模块化设计流程见图 2。按模块化方法对组件技术指标进行分解,确定各模块的指标和结构,根据模块间互连情况选择连接件、低频插座,根据结构要求进行组件整体壳体设计和低频母版设计。各模块装配调试完成后,对各模块进行组装并测试组件整体技术指标。

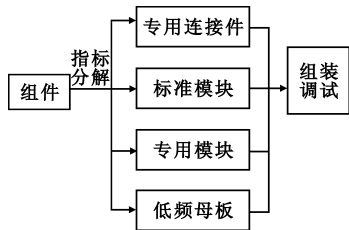


图 2 模块化设计流程图
Fig.2 Flowchart of modularization design

为了验证 Ka 频段模块体系的有效性,以一个功能复杂的三通道收发组件为例,按模块化流程进行设计。组件主要指标如下:频率 35 GHz,带宽 1.5 GHz,发射功率大于等于 1 W,和差通道噪声系数小于等于 4.5 dB,和差通道总增益大于等于 30 dB,和差通道隔离度不小于 35 dB,三通道镜频抑制不小于 20 dBc。

首先根据指标要求确定电路框图,选择器件,论证指标,然后根据模块化方法将框图分解成数个标准模块,并确定各模块技术指标和结构。模块划分情况见图 3。研制各标准模块和低频母板等,最后用连接件将模块组成完整的收发组件,其结构见图 4。

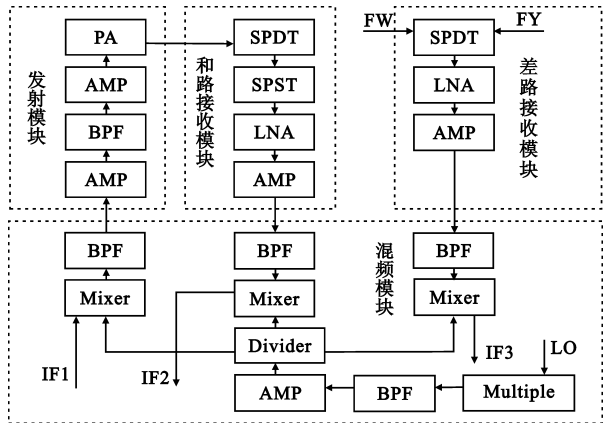


图 3 组件 1 模块化框图
Fig.3 Frame of module 1

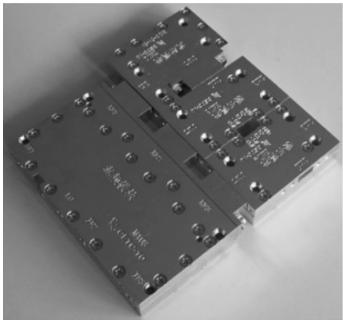


图 4 模块化三通道收发组件结构图
Fig.4 Configuration of three – channel module

为了验证模块体系能适应多种需求,再以某客户定制的双通道收发组件为例进行说明。组件指标如下:射频36 GHz,本振8.5 GHz,中频2 GHz,本振功率不小于12 dBm,中频输入功率不小于0 dBm,上、下变频增益不小于20 dB,接收噪声系数不大于3 dB,发射输出功率不小于20 dBm。组件模块化框图见图 5,模块化收发组件实物如图 6 所示。

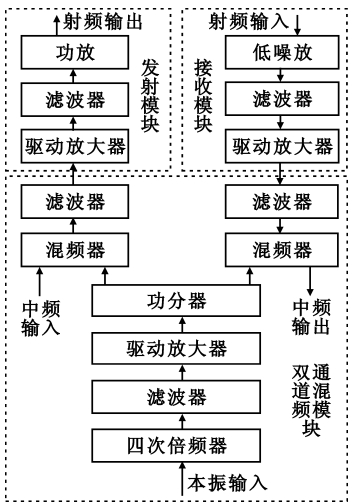


图 5 组件 2 模块化框图
Fig.5 Frame of module 2

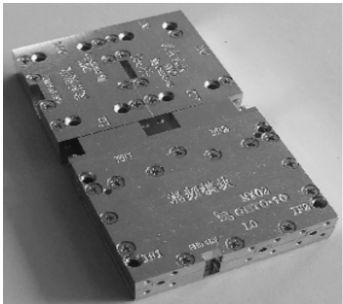


图 6 模块化双通道收发组件结构图
Fig.6 Configuration of two – channel module

模块化组件具有很强的灵活性,各模块拆卸后装配标准连接件可单独使用。当需要扩展或更改功

能时,不需要从头设计,通过更换其中部分模块或增加专用模块实现。增加发射功率,可在发射模块后加功放模块实现。增加通道数量,将混频模块更换成多通道模块,同时增加接收或发射模块就可实现。

6 结 论

本文通过研究,建立起了有效的 Ka 频段收发组件模块体系,开发了系列标准模块和小型化连接件,实现了针对雷达、电子战、导引头、测控通信等应用领域不同用户需求的毫米波收发组件高效率模块化开发,支持各应用领域用户采用标准模块产品进行自主开发。采用模块化技术进行组件设计,提高了技术成熟度,缩短了产品开发周期,节约了成本。模块无需调试,研制成本降低 40% 以上,开发周期从 4 个月以上缩短到 2 个月以内,大幅度提高了产品竞争力,具有广阔的应用前景。

由于模块体系是开放的,可以根据用户反馈的使用情况进行模块的性能改进和结构的进一步小型化。随着新产品的不断研制成功,模块库也会不断充实。在不久的将来,模块化设计必将成为毫米波收发组件的主流设计模式。

参考文献:

[1] 张文谦.现代设计方法在军用电子设备结构设计中的应用[J].电讯技术,2002,42(4):64 – 66.
ZHANG Wen – qian.The Application of Modern Designing Methods in Structural Design of Military Electronic Equipment[J].Telecommunication Engineering,2002,42(4):64 – 66. (in Chinese)
[2] 邱永红,朱勤.无线通信装备模块化设计研究[J].电讯技术,2003,43(5):107 – 112.
QIU Yong – hong, ZHU Qin. Research on Modular Design of Radio Communication Equipment[J].Telecommunication Engineering,2003,43(5):107 – 112. (in Chinese)
[3] 金烈元.武器装备的通用化、系列化、组化[M].北京:国防工业出版社,2008.
JIN Lie – yuan universalization, serialization, combination weapon equipment [M]. Beijing: National Defense Industry Press,2008. (in Chinese)
[4] 潘丽娟.模块化频率源的研制与发展[J].火控雷达技术,2002,31(2):1 – 6.
PAN Li – juan. Study and Development of Modular Frequency Synthesizer[J]. Fire Control Radar Technology, 2002, 31(2): 1 – 6. (in Chinese)

作者简介:

成彦(1976 –),女,重庆忠县人,2000 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研究开发工作。

CHENG Yan was born in Zhongxian, Chongqing, in 1976. She received the B.S. degree in 2000. She is now an engineer. Her research concerns R&D of millimeter wave module.

Email: free_bird3@163.com