

基于毛纽扣的 Ka 频段双极化相控阵雷达天线

王彪 朱贵德 蓝海

西南电子技术研究所

DOI:10.12238/acair.v1i4.6794

[摘要] 毫米波阵列单元间距小,双极化阵列的通道数是单极化的两倍,导致相控阵天线集成设计难度大。基于此,文章提出了一种基于毛纽扣互联的Ka频段双极化相控阵天线设计方法。该方法基于砖式架构,在T/R组件内用单刀双掷开关实现极化切换,射频通道的间距仅2.6mm。天线阵面模块与T/R组件模块之间采用毛纽扣套件与玻璃绝缘子压触式的垂直互联方案,解决了3SMP-KK系列连接器多对密排时插拔力大等问题。通过振动试验验证了该互联方案的可靠性。然后介绍了Ka频段双极化相控阵天线各模块的设计。最后就加工制造原理样机,测试性能指标,验证了提出方法的可行性。

[关键词] 毫米波相控阵; 双极化; 毛纽扣; Ka频段

中图分类号: TN957.2 **文献标识码:** A

Ka band Dual Polarized Phased Array Antenna Based on Fuzz Button

Biao Wang Guide Zhu Hai Lan

Southwest Institute of Electronic Technology

[Abstract] Millimeter wave array has small cell spacing, and the number of channels of dual polarization array is twice that of single polarization, which makes the integrated design of phased array antenna difficult. A design method of Ka band dual polarization phased array antenna based on fuzz button interconnection was proposed. This method was based on the brick architecture. The polarization switching was realized by SPDT switch in the T/R module, and the RF channel spacing was only 2.6 mm. The vertical interconnection method of fuzz button and glass insulator pressure contact was adopted between the antenna module and T/R module, which solved the problem of too large plug-in force when many pairs of 3SMP-KK series connectors were closely arranged. The reliability of the interconnection scheme was verified by vibration test. Then the design of each module of Ka band dual polarization phased array antenna was introduced. Finally, the principle prototype was manufactured and measured, and the feasibility of the proposed method was verified.

[Key words] Millimeter wave phased array; dual polarization; fuzz button; Ka band

引言

相控阵雷达导引头是一种采用先进相控阵天线技术的全新雷达导引头,具有传统雷达导引头不可比拟的优越性。

近年来国内很多研究机构就Ka频段相控阵天线展开了广泛的研究工作。常见的有源相控阵天线的架构主要有两种:一种是“砖式”,纵向集成横向组装,收发组件多层印制板布线面与天线口径面垂直;另一种是“瓦式”,横向集成纵向组装,收发组件多层印制板布线面与天线口径面平行^[1]。文献^[2]采用多功能集成芯片和子阵模块化的设计思路,提出了一种Ka频段圆极化有源相控阵天线。该天线基于“瓦式”架构,采用毛纽扣压触印制板焊盘的方式,实现阵面与收发组件的射频互联,其通道间距为5.5mm×5.5mm。文献^[3]设计了一种新型的Ka频段宽角扫描

圆极化相控阵天线,其通道间距约5mm×5mm,天线阵元通过SMP/SSMP系列高频连接器与T/R组件连接。文献^[4]设计了一个8×8的Ka频段双圆极化相控阵天线,用于卫星通信领域,作者主要介绍了天线阵列的设计,互联方案未提及。从笔者查阅的公开文献来看,关于Ka频段双圆极化相控阵雷达天线鲜有报道。

本文提出了一种基于毛纽扣互联的Ka频段双极化相控阵天线设计方法。运用该方法设计的原理样机基于传统砖式架构,通过毛纽扣实现模块内部以及模块与模块之间的垂直互联,可实现水平和垂直极化状态分时切换工作。该天线工作在Ka频段,具备方位面±30°,俯仰面±30°分时双极化电扫描能力,其原理样机的实测指标和设计指标基本吻合,验证了该方法的可行性与正确性。

1 相控阵天线架构与组成

通常,瓦式相控阵天线集成度高、厚度小,然而从工程的角度出发,在纵向尺寸允许的应用场景,砖式相控阵技术更成熟,产品可靠性更高。

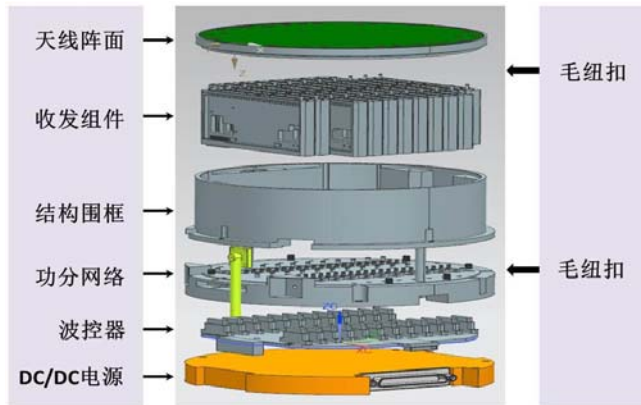


图1 基于毛纽扣的相控阵天线架构

如图1所示,该相控阵天线采用砖式架构,由天线阵面、收发组件(T/R)、功分网络、波控器、DC/DC电源以及结构围框等组成。功分网络模块内部采用了含毛纽扣的SSMP连接器。天线阵面模块内含毛纽扣套件,与T/R模块弹性压触式互联,由此,可解决通道数很多的情况下,传统KK连杆互联方案的插拔力太大的问题。

2 基于毛纽扣套件和玻璃绝缘子的模块垂直互联方案

毛纽扣由多段微小的金属丝缠绕而成,是一种理想的连接技术,配合绝缘介质可以形成同轴结构的毛纽扣套件,从而实现射频信号连接与传输。

毛纽扣具有体积小、重量轻、成本低等优点。应用毛纽扣的板间连接器及互联解决方案将助力现代化电子武器装备向小型化、轻量化发展。

目前市面上,应用于毫米波产品的射频同轴连接器,常见的有SMP型、SSMP型、3SMP型,此三种连接器工作带宽递增,物理尺寸递减,皆可应用于Ka频段。表1给出了这几种射频连接器的参数对比。

表1 常见的毫米波射频同轴连接器

	SMP 型	SSMP 型	3SMP 型
工作频率	DC~40GHz	DC~65GHz	DC~80GHz
最小安装间距	3.9mm	3.2mm	2.2mm

由上表可知,最小尺寸的3SMP型连接器的安装密度可以达到连接器中心孔间距2.2mm。但是3SMP系列产品尺寸极小,内导体直径仅0.23mm,安装和拆卸都需要使用专用的辅助工装。多对密排的3SMP对插困难,安装过程中极易损坏内导体,且相对而言售价昂贵。

本文提出的Ka频段双极化相控阵对应的通道间距为2.6mm,毛纽扣套件与玻璃绝缘子的创新性应用实现了小型化、高密度、

柔性接触,解决了传统3SMP-KK型连接方式成本高、易损坏、刚性对插等难题。天线阵面模块与T/R组件模块连接界面如图2所示。T/R模块射频连接器选用内导体直径0.5mm的玻璃绝缘子,焊接至T/R组件模块的金属腔体,能满足气密封的要求。

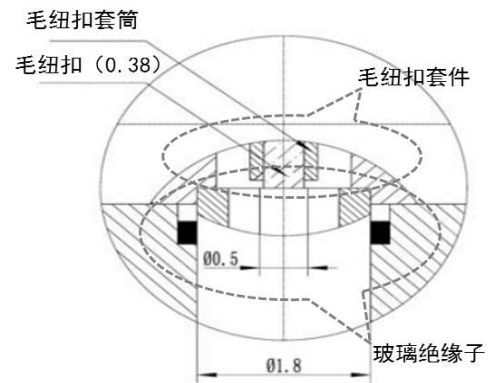


图2 天线与T/R连接界面示意图

相控阵天线使用大量毛纽扣压触式互联,如果工作过程中出现瞬断,会导致射频信号传输中断,影响相控阵天线电性能指标。为了验证在振动条件下,毛纽扣是否会出现瞬断,制作与原理样机1:1的样件进行了振动试验。天线阵列与TR组件之间采用基于毛纽扣套件和玻璃绝缘子的互联方法。试验方向: X、Y、Z三个方向;试验时间: 每个方向10min。瞬断监测仪可检测出小于1us的中断,以此来判断振动过程中本文提出的毛纽扣套件和绝缘子垂直互联方式的可靠性。试验中所有被检测的通道均无电气中断现象,说明毛纽扣套件和玻璃绝缘子的互联并未出现瞬断现象。上述试验侧重验证该互联方案各通道在振动过程中的电气导通性,此外,还加工了16通道毛纽扣套件和玻璃绝缘子互联模块,用矢量网络分析仪在振动条件下监测每个通道驻波和插损的变化。试验结果表明,驻波变化量小于0.01,插损变化量小于0.2dB。剔除试验电缆、仪器自身的影响,可以认为在振动过程中各通道驻波与插损几乎无变化。从而证明了该互联方式的电气连续性和可靠性。

3 Ka频段双极化相控阵雷达天线模块介绍

在工程应用中,模块化设计有利于故障排查、问题定位与解决。该相控阵天线由五个独立模块组成。其中,天线阵面模块由铝基板、微带天线印制板、毛纽扣套件、铝材盖板等构成。天线采用多层印制板的形式,实现了模块低剖面的要求。T/R组件模块的主要功能包含:极化切换、收发切换、射频收发信号放大、各射频通道的幅度和相位调节、子阵级功率分配与合成、脉冲信号调制等。功分网络模块需实现功率的分配与合成,同时要对四个象限的子阵信号通过和差网络形成和差信号。功分器部分采用基于平面埋阻工艺的Wilkinson功分器^[5]。因受长宽尺寸限制,和差器部分布置在另外一层,通过金属化过孔实现功分网络与和差网络的垂直互联。将多层印制板焊接至金属腔体上,螺旋毛纽扣SSMP型连接器作为功分网络模块与T/R模块的射频

接口。波控器是相控阵天线的大脑和控制核心,根据通信协议解析指令,提取相应的控制信息,并根据命令参数实现对所有T/R移相码的计算或校准码计算,将移相码分发到T/R组件,使其偏移至要求的相位和频率,达到改变波束的目的。电源模块为一个独立的功能模块,其主要功能是将外部输入的电压转换成相控阵天线各有源模块所需要的各组电压,即DC/DC转换。

4 试验验证结果

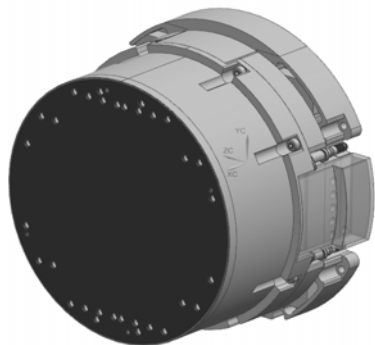


图3 原理样机外观图

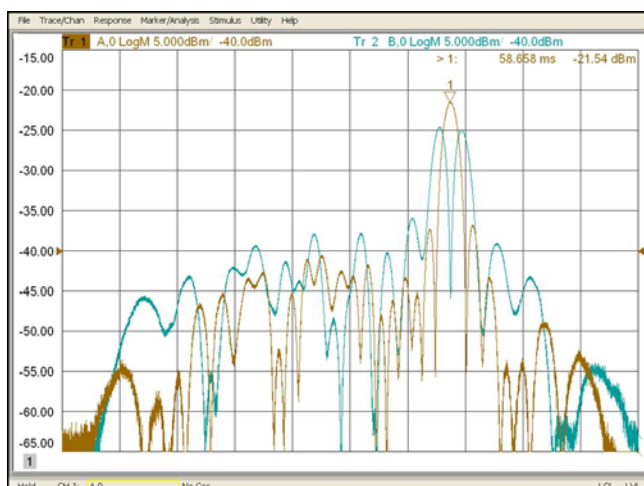


图4 实测和差波束方向图示例

基于本文提出的毛纽扣套件和玻璃绝缘子垂直互联方案,加工制造了该Ka频段双极化相控阵天线原理样机,产品外观图如图3所示。该原理样机厚度小于90cm,重量小于4kg。

对该原理样机电性能进行测试,均匀分布时,副瓣电平为-14.5dB,原理样机的EIRP、G/T等的测试值与设计值基本吻合。和差波束的电扫描方向图的测试结果图4所示。

5 结束语

本文提出了一种基于毛纽扣互联的Ka频段双极化相控阵天线设计方法。基于砖式相控阵天线架构,引入毛纽扣套件与玻璃绝缘子压触互联方式,解决了传统射频连接器尺寸大、成本高、刚性对插困难等问题。运用该方法设计了一种Ka频段双极化相控阵天线,通道间距小至2.6mm,可实现垂直和水平极化切换工作。通过振动试验,证明了该互联方法的电气连续性与可靠性。原理样机的测试结果表明,测试值与设计值基本吻合,验证了本文提出方法的正确性。该方法可推广应用于Ka频段双极化相控阵天线设计,具有重要的工程应用价值。

参考文献

- [1]蓝海.毫米波通信二维有源相控阵天线[J].中国新通信,2014,(3):32-34.
- [2]陈军权,何海丹,何庆强.一种Ka频段“瓦式”有源相控阵天线设计[J].现代电子技术,2017,40(7):43-47.
- [3]杨国庆.新型Ka频段宽角扫描圆极化相控阵天线[J].电讯技术,2020,60(11):1373-1377.
- [4]柏艳英.Ka频段双圆极化相控阵天线设计[J].电子元件与材料,2017,36(11):47-51.
- [5]李鹏程.基于平面埋阻工艺的Wilkinson功分网络设计[J].无线电工程,2019,49(6):518-522.

作者简介:

王彪(1988—),男,汉族,四川省广元市人,硕士,中国西南电子技术研究所,工程师,研究方向:毫米波相控阵天线。