

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108593

表面开槽的宽带遥测微带天线设计

高原¹ 孙兆锋¹ 彭斌¹ 苏曦之² 赖小皇²

(1. 电子科技大学电子科学与工程学院 成都 611731; 2. 中国航发四川燃气涡轮研究院 绵阳 621054)

摘要: 微带天线由于体积小、易共形、适用于金属环境等优点而被广泛地应用于旋转件遥测系统中。针对传统微带遥测天线带宽较窄的问题,提出了一种通过在天线贴片和地板上开槽来扩展带宽的设计方法,并进行了仿真和测试验证,二者结果吻合良好。高频电磁结构仿真软件 HFSS 的仿真结果表明,通过在适当位置开槽,可使得天线的相对阻抗带宽($S_{11} < -10$ dB)达到 5.6%(2.409~2.545 GHz),基本覆盖 ISM 频段,最高增益可达 4 dBi。测试结果表明其相对阻抗带宽为 6%(2.41~2.56 GHz),在收发天线间距 10 mm 的情况下,传输系数 S_{21} 达到 -22 dB,可以满足遥测系统的需求。

关键词: 遥测天线;宽带;开槽;微带天线

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Design of broadband telemetry slotted-microstrip antenna

Gao Yuan¹ Sun Zhaofeng¹ Peng Bin¹ Su Xizhi² Lai Xiaohuang²(1. School of Electronic Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;
2. AECC Sichuan Gas Turbine Establishment, Mianyang 621054, China)

Abstract: Microstrip antenna is widely used in telemetry system due to its small size, easy conformal and suitable for metal environment. Aiming at the narrow bandwidth of traditional microstrip telemetry antenna, a design to expand bandwidth by slotting on antenna patch and floor is proposed, simulation and test verification are carried out and their results are consistent with each other. The HFSS simulation results show that the relative impedance bandwidth($S_{11} < -10$ dB) of the antenna is 5.6%(2.409~2.545 GHz) which basically covers the ISM frequency band by slotting at appropriate positions and the highest gain can reach 4 dBi. Test results show that its relative impedance bandwidth is 6%(2.41~2.56 GHz) and the transmission coefficient of S_{21} is about -22 dB when the distance between two antennas is kept at 10 mm, which meets the requirements of the telemetry system.

Keywords: telemetry antenna; broadband; slotting; microstrip antenna

0 引言

高速旋转机械如航空发动机的研究、设计和应用过程中,往往需要测量转动部件上的温度、应变等各项参数。无线电遥测技术通过安装在旋转部件上的发射机,将传感器测试得到的温度、应变等信息通过天线传输给接收端,是当前旋转部件温度、应变等参数测试的先进技术。为了实现数据的高速率传输,通常要求天线具有宽带特性。

传统微带天线由于体积小、易共形、适用于金属环境等优点而被广泛地应用于遥测系统^[1],但是其带宽窄,为解决这一问题,达到高速率传输数据的目的,可以通过使用高厚度的介质基板^[2]、L形探针耦合馈电^[3-4]、天线开槽与缝隙耦合^[5-9]、天线分形^[10-12]、短路加载^[13]、激发多模谐振^[7,14-15]

等多种形式。文献[3]通过L形馈电探针与贴片形成容抗补偿探针的感抗,同时贴片加载缝隙形成多调谐回路来展宽工作带宽,天线阻抗带宽达到66.9%。文献[4]设计了一种采用L形探针耦合馈电的“E”形贴片微带天线,阻抗带宽达到33.3%。文献[5]在矩形贴片上开了两个相连的矩形槽,得到92.6%的阻抗带宽。文献[6]提出了一种由弯曲形馈电线以及方形环构成的宽缝隙组成的紧凑型宽带天线,通过馈线旁加载垂直开路枝节扩展阻抗带宽,相对带宽达到90.59%。文献[7]提出了一款新型紧耦合缝隙宽带天线,通过在地板上开多个矩形缝隙,缝隙间互相耦合,产生多个互相靠近的谐振模式,从而形成宽频带效果,相对带宽为95%。文献[8]在矩形微带天线上开U形槽引入多个谐振频率,得到118.6%的阻抗带宽。文献[9]在中心贴

收稿日期:2021-12-13

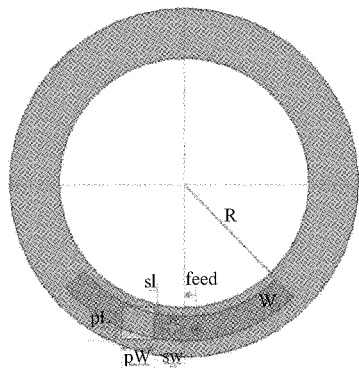
片两侧近距离放置两个寄生贴片,通过缝隙耦合产生两个在中心频率附近的谐振频率,调整寄生贴片大小,使得3个频率合成一个宽带,相对带宽达到22%。文献[10-12]各自采用不同的分形结构,借助结构上的自相似性,在减小天线尺寸的同时,产生不同的电流路径相互影响从而产生多个谐振点,以此获得宽频特性。文献[13]采用双层贴片架构,并通过短路加载引入电感分量有效展宽了天线带宽,L频段相对带宽为6%,C频段相对带宽21%。文献[14]在矩形贴片上开等边三角形缝隙,通过不对称馈电和加载缝隙槽枝节激励其他模式,形成多模谐振,相对带宽达到44.5%。文献[15]使用3条缝隙将辐射贴片等分为4份来激发双模谐振,得到41%的阻抗带宽。

在无线电遥测系统中,由于空间狭小,往往要求遥测天线小型化,并与旋转件共形。为此,本文采用圆环形状的天线结构,设计了在弧形天线辐射贴片上开十字槽,在接地板上开十字槽和方形槽来扩展天线带宽,同时调节天线阻抗的方法,利用该方法设计和制作了一个工作在2.4~2.5 GHz的无线电遥测微带天线,研究了其频率特性。

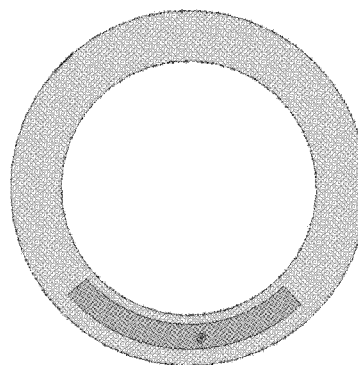
1 天线设计与仿真

本文设计的微带遥测天线工作在2.4~2.5 GHz的ISM频段,因为天线作为遥测系统的一部分安装在待测部件上随之转动,为了与遥测装置旋转轴共形,天线基板采用圆环形结构。为了缩小天线体积,将矩形微带天线变形为圆弧形贴片。由于应用场景的狭小空间使得天线尺寸受限,本文采用在贴片和地板上开槽的方法来扩展天线带宽,同时获得一定的小型化性能。这种方法不仅结构简单,并且不影响天线剖面尺寸。

根据上述方法,设计了如图1(a)所示的宽带微带天线,为了对比,本文还设计了如图1(b)所示的没有开槽的相同结构的基本微带天线。设计中,采用相对介电常数为5.0,厚度为1.6 mm的FR4材料作为介质基板,微带辐射贴片位于介质基板上层,下层覆铜作为接地面。天线基板尺寸为43 mm×43 mm×1.6 mm,贴片弧长L、中心半径R、天线宽度W、馈电点位置feed、十字槽的长sl和宽sw、矩形槽的长pL和宽pW取值如表1所示。



(a) 宽带微带天线



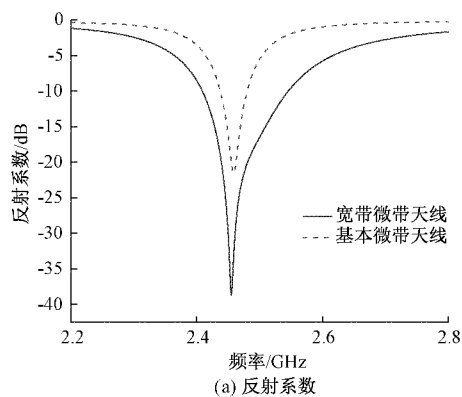
(b) 基本微带天线

图1 天线设计图

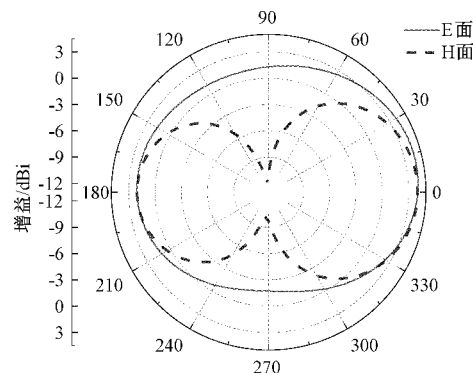
表1 天线结构设计参数 mm

L	R	W	feed	sl	sw	pL	pW
28.1	18	3	2.2	2	0.6	4	4

采用高频结构仿真软件HFSS对所设计的微带天线进行了仿真分析。图2所示为两种微带天线的仿真结果。



(a) 反射系数



(b) 二维增益方向图

图2 天线仿真结果

从图2(a)的反射系数仿真结果可以看出,没有开槽的基本微带天线的-10 dB阻抗带宽约为43 MHz(2.437~2.48 GHz),而开槽后的宽带微带天线的-10 dB阻抗带宽达到了137 MHz(2.409~2.545 GHz),带宽扩展了94 MHz,非常明显,基本覆盖了ISM频段。图2(b)是天线在谐振频

率 2.48 GHz 处的增益方向图仿真结果,从图中可以看出,该宽带微带天线的 E 面呈稍扁的椭圆形, H 面为“8”字形,增益峰值约 4 dBi,最大辐射方向为正上方。

在天线设计过程中,为获得较好的结果,使用 HFSS 软件的优化功能,对表 1 中所列的各种参数进行了优化扫描,图 3 所示为矩形槽的长 pL 和宽 pW 这两个参数对天线性能的影响。

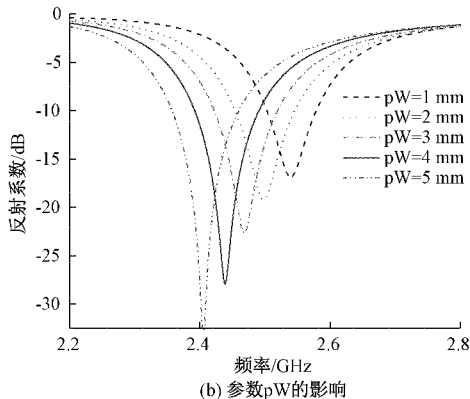
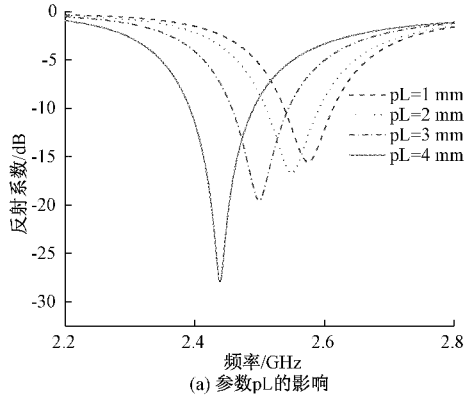


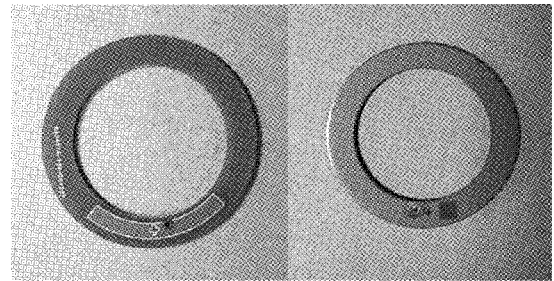
图 3 参数扫描结果

由图 3(a)可以看出,随着 pL 的增加,天线的谐振频率逐渐降低,说明这一结构起到了减小天线尺寸的作用.同时,反射系数也有所提高,表明天线的阻抗匹配得到改善.从图 3(b)的结果可以看出,参数 pW 的变化对天线性能的影响与 pL 基本一致.通过对各个结构参数进行优化,最终得到如表 1 所示的天线优化参数。

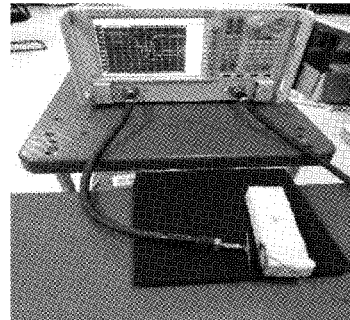
2 天线测试与分析

根据设计和优化后的天线结构,对所设计的微带天线进行了加工,并使用矢量网络分析仪(Agilent N5234A)对微带天线进行了测试,采用遥测技术中常用的环天线作为遥测装置的接收天线,用于测试所设计宽带天线的传输性能.天线实物及测试图如图 4 所示,测试结果如图 5 所示。

图 5(a)是所制备的宽带微带天线的测试结果与仿真结果的对比图.从图中对比可以发现,天线的实测结果与仿真较为吻合,实际的中心频率向高频偏移了约 34 MHz 左右,这可能是由于加工误差使得开槽的尺寸与仿真尺寸

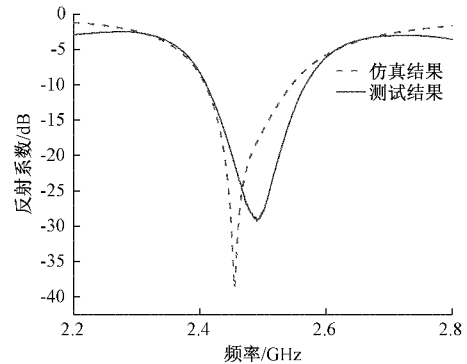


(a) 天线实物图(左:正面 右:背面)

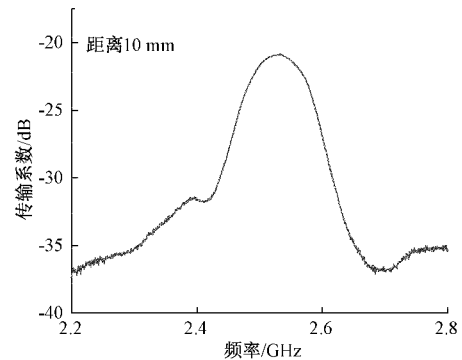


(b) 天线测试现场

图 4 天线实物及测试图



(a) 反射系数测试结果



(b) 天线传输性能测试结果

图 5 天线测试结果

相比有所偏差.另一方面,加工过程中所用基板材料的实际介电常数和损耗可能与仿真参数也有一定的偏差,这也会导致中心频率发生偏移.同时可以看出,天线 -10 dB 阻抗相对带宽达到了 6% (2.41~2.56 GHz),基本覆盖目

标频段,达到了预期效果。

图5(b)是采用遥测系统的环形接收天线和微带天线之间的传输性能测试结果,从测试结果可以看出,当接收天线和遥测天线间距为10 mm时,两个天线之间的传输系数 S_{21} 幅值约为-22 dB,在2.4~2.5 GHz频段内不低于-31 dB,完全满足遥测系统对天线传输性能的需求。

3 结 论

采用圆环形的微带天线结构,通过在弧形天线贴片上开十字槽扩展带宽,并在地板开矩形槽改善天线阻抗,设计并制作了一款小型化的共形宽带遥测天线,该天线整体尺寸为43 mm×43 mm×1.6 mm,实测结果表明,天线 S_{11} 参数与高频电磁仿真软件HFSS仿真结果基本一致,实测相对阻抗带宽达到6%(2.41~2.56 GHz),基本覆盖ISM频段,在10 mm距离上接收天线和微带天线之间的传输系数幅值为-22 dB,传输性能良好。该天线具有体积小、带宽大、易于加工的优点,可用于近程无线电遥测系统的无线通信场景。

参考文献

- [1] 陈蓬旭,李建新.一种带状线L型探针馈电的微带贴片天线设计[J].电子测量技术,2021,44(11):28-32.
- [2] 刘汉,尹成友,范启蒙.超宽带天线的研究现状与展望[J].电子元件与材料,2016,35(6):8-15.
- [3] 李贵栋,汤晓云,粮华清.一种L形探针馈电宽带微带天线设计[J].电子质量,2020(9):43-46.
- [4] 郑娟,顾涓涓,李翠花.L形探针馈电的E形宽带微带天线仿真分析与设计[J].安阳师范学院学报,2017(5):23-25.
- [5] GYASI K O, WEN G J, INSERRA D, et al. A compact broadband circularly polarized slot antenna with two linked rectangular slots and an inverted-F feed line[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2018,66(12):7374-7377.
- [6] 武哲,杨林,栗曦.宽带圆极化微带缝隙天线的设计[J].微波学报,2018,34(S1):175-177.
- [7] 张宥诚.基于多模谐振的宽带天线研究与设计[D].南京:南京信息工程大学,2021.
- [8] PREMA G, RAJARAJESWARI V. Design of broadband microstrip slot antenna for satellite application[C]. 2017 4th International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), 2017:33-37.
- [9] 周大利,周骏,杨驾鹏,等.宽带毫米波微带天线的设计[J].电子元件与材料,2018,37(2):55-58.
- [10] 陈夏寅,彭菊红,王旭光,等.北斗S波段分形微带阵列天线的设计[J].无线电通信技术,2018,44(6):618-622.
- [11] 唐震,汪立新,汤天宇.类Minkowski分形天线的分析与设计[J].电子技术应用,2019,45(7):77-80.
- [12] 张广海,汪立新,陈茂洋.一种六边形分形宽带天线的设计[J].电子技术应用,2020,46(11):74-78.
- [13] 王崇惜,邓淑英.一种短路加载层叠式双频双极化微带天线[J].通信技术,2019,52(2):485-496.
- [14] 王友保,张宥诚,郑大鹏.一种等边三角形缝隙环宽带天线的设计[J].太赫兹科学与电子信息学报,2021,19(1):85-89.
- [15] SUN W, LI Y, ZHANG Z, et al. Broadband and low-profile microstrip antenna using strip-slot hybrid structure[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2017(16):3118-3121.

作者简介

高原,硕士研究生,主要研究方向为移动与无线通信。

E-mail:ee01gaoyuan@163.com