

doi:10.19306/j.cnki.2095-8110.2017.05.015

一种有源高带外抑制导航天线设计

张艳梅, 李峰, 徐晓松, 吴婵娟

(北京自动化控制设备研究所, 北京 100074)

摘要:设计了一种有源高带外抑制导航天线,能够有效抑制弹上数据链天线的高功率干扰,适应弹上复杂电磁环境。

关键词:有源天线;带外抑制;导航系统;干扰

中图分类号:U666.12

文献标志码:A

文章编号:2095-8110(2017)05-0089-05

An Active Antenna of High out of Band Rejection for Navigation System

ZHANG Yan-mei, LI Feng, XU Xiao-song, WU Chan-juan

(Beijing Institute of Automatic Control Equipment, Beijing 100074, China)

Abstract: An active antenna of high out of band rejection is presented, which can inhibit the high power jamming from the data link effectively. This antenna can well adapt to the complex electromagnetic environment on Missile.

Key words: Active antenna; Out of band rejection; Navigation system; Jamming

0 引言

随着现代科学技术的高速发展,作战环境趋于复杂化和多样化,以及弹体本身的小型化,弹上电子设备的数量和种类不断增加,集成度越来越高,弹上设备距离减小,信号空间衰减变弱,使电磁环境日益复杂。在这种复杂的电磁环境中,卫星导航接收天线会受到来自其他设备的直接干扰,例如惯导、电源、遥测设备、数据链、安控设备、制导机设备等^[1-3]。卫星信号功率非常微弱,这些设备的干扰都会通过卫星接收天线进入卫星接收机,轻则抬高接收机的噪底,造成接收机信噪比下降;重则直接导致卫星接收机搜星异常,定位失败。

卫星导航系统依靠电磁活动实现其功能,容易受到电磁环境的影响。文献[4-6]研究了对于蓄意干扰的主动防御,通过天线阵列设计和抗干扰算法实现对干扰来向的辨识和抗干扰;文献[7-8]研究了载体对导航以及定位设备的影响。而对于弹上设备之间的

相互电磁干扰问题研究甚少,减小系统内部及系统间的电磁干扰,保证通信系统的正常工作是一个现实而又迫切的关键问题,电子信息装备间的电磁兼容问题日益突出,如何使我们所设计的卫星导航天线在这种复杂的电磁环境中正常工作,是一个亟待解决的问题。本文设计一款GPS导航天线,能够在弹上近距离数据链设备高功率发射下正常工作。

1 天线建模

1.1 微带天线原理

根据微带天线理论^[9],贴片单元宽度 a 的尺寸直接影响着微带天线的方向性函数、辐射阻抗及输入阻抗。考虑到要兼顾辐射效率和避免产生高次模,通常要求宽度 a 满足式(1)的要求

$$a \leq \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

收稿日期:2017-04-01;修订日期:2017-06-20

作者简介:张艳梅(1984-),女,工程师,主要从事导航天线方面的研究。E-mail:zymht0033@163.com

实际工程中, a 一般取 $\frac{c}{2f_r\sqrt{\epsilon_r}}$, 式中: c 为光速; f_r 为天线的工作频率; ϵ_r 为天线基片的相对介电常数。

1.2 天线建模

本文所设计的 GPS 导航天线结构如图 1 所示。顶层为微带天线辐射贴片, 贴片的边长为 a , 贴片上等边三角形切角的边长为 b , 中间为微波复合介质板, 介质板的外形尺寸为 $L_1 \times W_1$, 调谐贴片的外形尺寸为 $L \times W$, 天线所使用板材为泰州旺灵公司的 TP-2, 其介电常数 $\epsilon_r = 6.0$, 厚度为 h , 最下层为天线的金属基板。

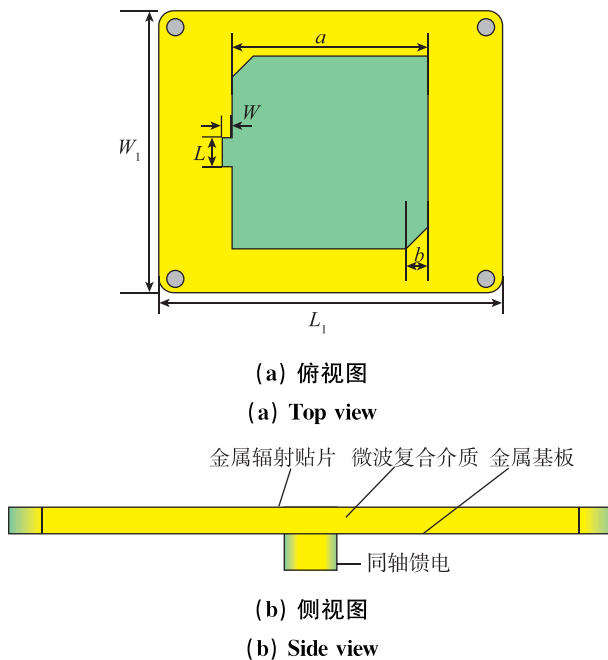


图 1 天线结构

Fig. 1 Antenna geometry

卫星接收天线首先得满足右旋圆极化工作。圆极化实现方式有多种^[10-13], 包括: 1) 单馈法; 2) 双馈法; 3) 多元法; 4) 微带行波线阵法。本文采用单馈法, 通过破坏天线的平衡性来实现圆极化。这种方法主要基于空腔模型理论, 利用简并模分离单元产生 2 个辐射正交极化的简并模工作。这种方法的关键在于确定几何微扰, 即选择简并模分离单元的大小和位置, 以及恰当的馈电点。无需外加的相移网络和功率分配器, 结构简单, 成本低, 实现方案多样, 适用于各种形状的贴片^[14]。本文中采用三角形微扰配合同轴馈电位置来实现 2 个正交极化, 通过与馈电点的配合, 从而实现右旋圆极化。

2 设计与仿真分析

本研究利用 Ansoft 公司的 HFSS13.0 仿真软件进行建模仿真。首先对 GPS 导航天线进行了设计仿真, 在此基础上, 对数据链天线的工作频段以及与导航天线之间的距离进行了场景建设与仿真。通过仿真得知 2 个天线之间的隔离度, 进一步为有源电路部分的设计做指导。

导航天线辐射贴片的边长 a 确定了该天线的工作频点 GPS L1 的频率为 1575.42MHz, 边长 a 越大, 频点越向低频偏移, a 越小, 频点越向高频偏移。通过式(1)计算得 $a = 46.6\text{mm}$, 在 HFSS 13.0 软件中进一步仿真和优化确定下来的尺寸为 $a = 46\text{mm}$ 。介质板外形尺寸为某型号表面共形确定的尺寸, 具体为 $L_1 = 60\text{mm}$, $W_1 = 52\text{mm}$ 。调谐贴片主要用于辐射贴片的辐射阻抗匹配, 具体尺寸通过仿真分析确定, 仿真结果为 $L = 4\text{mm}$, $W = 1.5\text{mm}$ 。介质板厚度 $h = 4\text{mm}$, 图 2 所示为软件中的仿真模型。

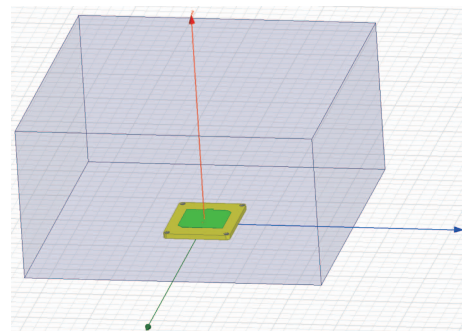


图 2 在软件中的仿真模型

Fig. 2 The simulated antenna mode

图 3、图 4 所示为仿真环境下该天线的性能曲线。

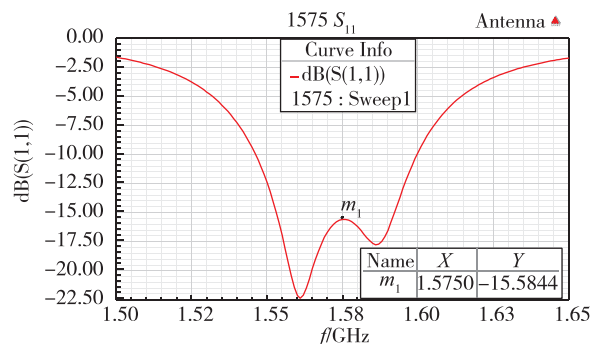


图 3 GPS L1 工作频点的反射系数

Fig. 3 The return loss for the antenna at GPS L1

从图 3 可以看出,该天线在 1.55~1.60GHz 范围内的反射系数 S_{11} 均小于 -10dB,工作带宽为 50MHz 以上,完全覆盖了 GPS L1 的频带,所以能够很好地工作在该频段。

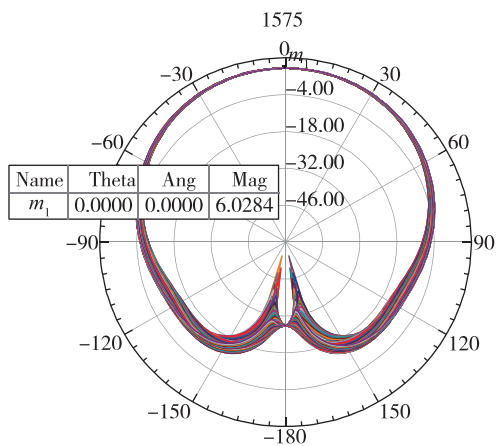


图 4 GPS L1 的 E 面方向图

Fig. 4 The radiation pattern for the antenna at GPS L1

图 4 中,在 GPS L1 频点,该天线的顶向增益为 6.02dB,其上半平面为分布均匀的圆形,为全向天线,满足导航天线对方向图的要求。

以上为天线的无源辐射部分的仿真性能。天线有源部分的设计摒弃传统的“放大-滤波-放大”的模式,采用“滤波-放大-滤波”模式。在低噪声放大器之前先加一级滤波器,能够起到抑制带外干扰,防止进入低噪声放大器功率过强,达到或者超过低噪声放大器的 1dB 压缩点而导致饱和,引起失效。前级滤波器的正确选型能够进一步抑制数据链天线对 GPS 工作频段内的干扰。在此我们前级滤波器选择了带外抑制较好的 RFM 公司的产品 SF1186K-3,在 3.0GHz 处的抑制为 59dB,如图 5 所示。

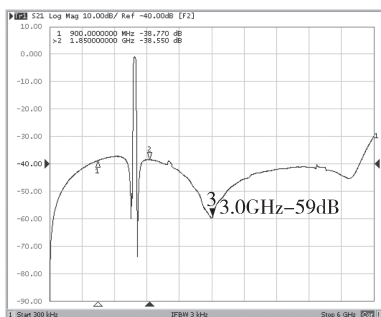


图 5 SF1186K-3 频率响应曲线

Fig. 5 Frequency response plots of SF1186K-3

低噪声放大器的选择也比较重要,在保证对工

作频带内信号有效放大的同时,需要尽量大的 1dB 压缩点,在此选择了 Wanton 公司的某款放大器,可以保证 1dB 压缩点为 -25dBm。结合所选择的有源电路部分的元器件,进行分析,具体分析如下。

仿真中为了进一步确认该 GPS 导航天线与数据链天线之间的隔离度,仿真模拟了工作在 3.0GHz 频点的数据链天线。

为了进一步计算 2 个天线之间的隔离度问题模拟仿真的一款数据链天线的反射系数如图 6 所示,可以看出,该天线的 S_{11} 在 2.92~3.12GHz 内均小于 -10dB,该天线的仿真结果可用作分析参考。

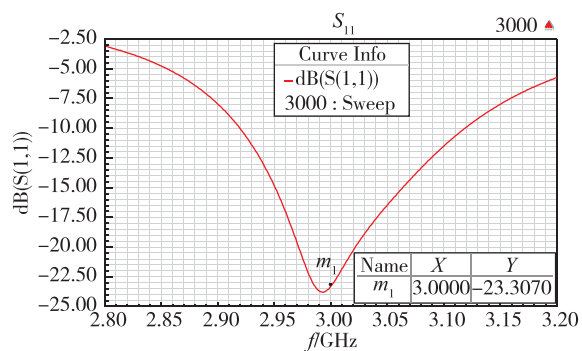


图 6 数据链天线在 3.0GHz 的反射系数

Fig. 6 The return loss for the antenna at 3.0GHz

图 7 所示为在弹上导航天线与数据链天线的相对位置,中心间距 $D=80\text{mm}$ 。

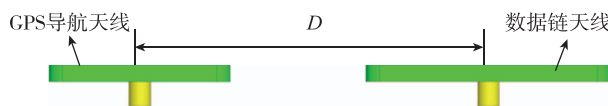


图 7 GPS 天线和数据链天线

Fig. 7 The GPS antenna and data link antenna

从图 8 可以看出,GPS 天线和数据链天线在 3.0GHz 频点的隔离度为 34.6dB。

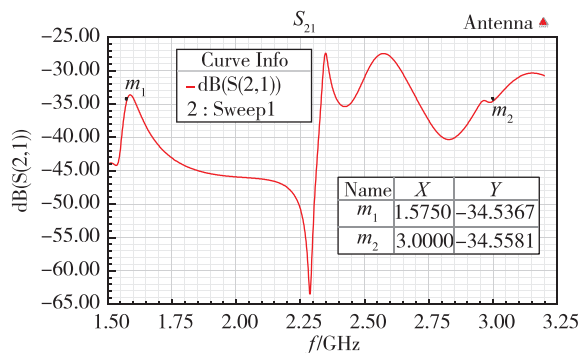


图 8 两个天线之间的互耦

Fig. 8 The mutual coupling for the two antenna

图9中, GPS天线在3.0GHz处的增益为-16.4dB。

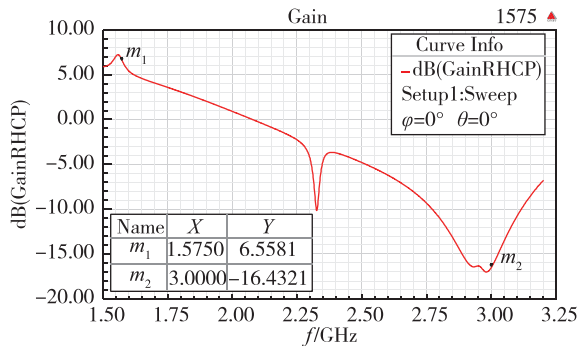


图9 GPS天线在1.575GHz和3.0GHz处的增益

Fig. 9 Gain at 1.575GHz and 3.0GHz of GPS antenna

图10中, 数据链天线在3.0GHz处的增益为5.9dB。

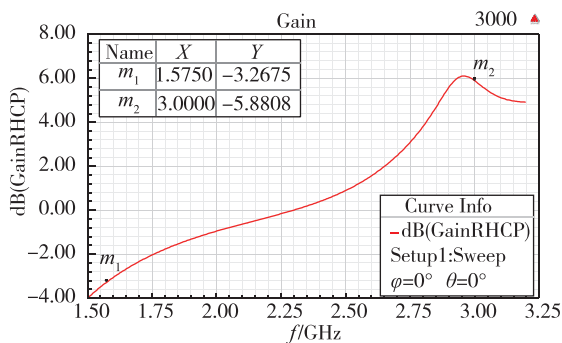


图10 数据链天线在1.575GHz和3.0GHz处的增益

Fig. 10 Gain at 1.575GHz and 3.0GHz of data link antenna

在确定了数据链天线在1575.42MHz处的增益、GPS天线本身的增益以及GPS天线与数据链天线之间的隔离度之后, 需要进一步考虑自由空间传输损耗。

自由空间传输损耗 L_{fs} 定义为^[15]

$$L_{fs}(\text{dB}) = 32.44 + 20\lg d(\text{km}) + 20\lg f(\text{MHz}) - G_T - G_R \quad (1)$$

其中, d 为距离(km), f 为工作频率(MHz), G_T 为发射天线的增益, G_R 为接收天线的增益。将GPS天线与数据链天线之间的距离 $D = 80\text{mm}$ 代入式(1)中的 d , $f = 3000\text{MHz}$, $G_T = 5.9\text{dB}$ (见图10仿真结果), $G_R = -16.4\text{dB}$ (见图9仿真结果), 计算得 $L_{fs} = 30.54\text{dB}$ 。数据链信号在3.0GHz处的衰减为30.54dB。GPS天线和数据链天线在3.0GHz频点的隔离度为34.6dB(见图8);低噪放

前级滤波器SF1186K-3在3.0GHz频带带外抑制能力为59dB;假设最坏的情况,数据链在3.0GHz的发射功率为10W(40dBm),所以进入低噪放前级的数据链信号强度为: $40 - 30.54 - 34.6 - 59 = -84.14\text{dBm}$, 低于低噪放的输入1dB压缩点-25dBm, 低噪放未饱和, 工作正常。同时由于低噪放采用的是“滤波-放大-滤波”模式, 前级滤波器的正确选型保证了GPS天线在数据链天线干扰的情况下正常工作; 后级滤波器对插损没有苛刻的要求, 选择带外抑制比较好的滤波器, 保证数据链信号进入卫星接收机前端时信号强度小于-130dBm, 保障接收机的正常工作。

3 样机制作、测试与实验验证

用HFSS 13.0进行仿真分析后, 对该模型进行加工。图11所示为按照软件仿真加工出来的天线贴片。图12所示为实际加工、装配出来的GPS L1导航天线。该天线使用聚四氟乙烯材料作为天线罩, 该材料具有良好的透波性能, 可加工性强。

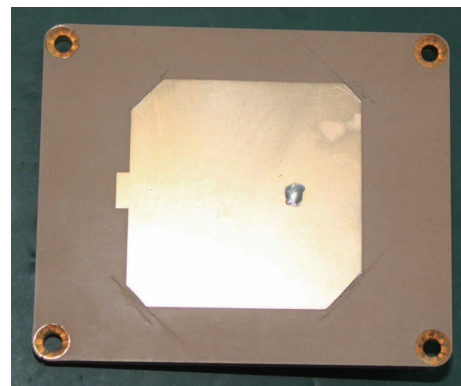


图11 仿真天线的实际加工图

Fig. 11 Actual processing object



图12 实物装配图

Fig. 12 The prototype for the antenna

天线贴片加工完成之后, 在同轴馈电点位置焊

上连接器进行测试。因为板材介电常数和厚度的公差导致实测时工作频点偏离仿真结果,通过对敷铜层图形的切割,对该天线贴片进行调试。调试后该天线的反射系数曲线如图13所示,为使用矢量网络分析仪E5061B测量的该天线实物在GPS L1频点的反射系数。由结果可以看出,该天线单元的反射系数在-19dB以下,能够很好地工作在GPS L1频点。

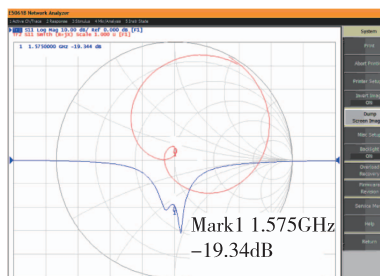


图13 实物天线在BD2B3频点的反射系数

Fig. 13 Measured return loss for the antenna at BD2B3

加工出来的实物经过实际弹上安装实验之后,在数据链天线工作的情况下,该GPS导航天线工作正常,性能不受影响,能够适应弹上如此近距离的电磁干扰。

4 结论

本文通过对弹上导航天线和数据链天线的精准建模仿真,并通过无源天线贴片和有源电路之间的有效配合,减小2个天线之间的相互干扰。为集成度高、电子设备数量和种类多、设备之间距离小、电磁环境复杂的弹上导航装置的设计提供了一种行之有效的方法。

参考文献

- [1] 蔡仁钢. 电磁兼容原理、设计和预测技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1997.
- [2] 沙斐. 机电一体化系统的电磁兼容技术[M]. 北京:中国电力出版社, 1999.
- [3] 白同云,吕晓燕. 电磁兼容设计[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2001.
- [4] 向培胜. GPS抗干扰技术综述[J]. 电讯技术, 2009, 49(10):93-96.
- [5] 周乐柱,李斗,郭文嘉. 卫星通信多波束天线综述[J]. 电子学报, 2001, 29(6):824-828.
- [6] 党明杰. 自适应调零天线技术在组合导航抗干扰中的应用[J]. 全球定位系统, 2008, 33(3):32-36.
- [7] 宗显政. 平台与天线的一体化电磁建模及工程实践研究[D]. 成都:电子科技大学, 2008.
- [8] 臧家伟,王学田,柳柏林,等. 车载体及地面环境对天线电磁特性的影响研究[J]. 微波学报, 2014(s2):77-80.
- [9] 林昌禄. 天线工程手册[M]. 北京:电子工业出版社, 2002.
- [10] 林昌禄,宋锡明. 圆极化天线[M]. 北京:人民邮电出版社, 1986.
- [11] Gupta K C, Benalla A. Microstrip antenna design [M]. Artech House, 1988.
- [12] Wong K L, Lin Y F. Circularly polarised microstrip antenna with a tuning stub [J]. Electronics Letters, 1998, 34(9): 831-832.
- [13] Lu J H, Tang C L, Wong K L. Circular polarisation design of a single-feed equilateral-triangular microstrip antenna [J]. Electronics Letters, 1998, 34(4): 319-321.
- [14] 薛睿峰,钟顺时. 微带天线圆极化技术概述与进展[J]. 电波科学学报, 2002, 17(4):331-336.
- [15] 范博. 射频电路原理与实用电路设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.