

调零天线阵列设计研究^{*}

赵 凯¹⁾ 谭启国²⁾ 王锡良¹⁾

(电子科技大学电子工程学院¹⁾ 成都 611731)(61085 部队²⁾ 北京 100094)

摘 要 介绍了一种我国卫星定位系统抗干扰接收机射频前端的调零天线阵列。基于功率倒置(PI)算法和天线原理,设计出的天线阵列实现了自适应调零天线各项指标。重点介绍了调零原理、天线阵列设计和对天线单位阵元的设计与仿真,同时介绍了微带天线的基本理论和圆极化天线的科学测试方法,便于准确实现天线的指标和各单元的一致性情况。该调零阵列天线对卫星导航信息信号稳定性有特殊要求和电磁环境恶劣的场合有重要作用。

关键词 调零; 卫星导航; 微带天线; 天线阵列

中图分类号 TN82

Design and Research of Nulling Antenna Array

Zhao Kai¹⁾ Tan Qiguo²⁾ Wang Xiliang¹⁾

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science Technology¹⁾, Chengdu 611731)

(No. 61081 Troops of PLA²⁾, Beijing 100094)

Abstract This paper completes the design of anti-jamming nulling antenna array of X satellite navigation system. This array antenna which based on power-inversion(PI) arithmetic and adapting antenna theory, can achieve all kinds of target of adapting nulling antenna. This paper provides the design of nulling theory and array antenna, including simulating, and introduce basic theory of microstrip antenna and exact testing method of circular polarization antenna. This X nulling antenna array can be widely used in many locations such as the case in wicked electromagnetic environment or some system which have special demand to satellite navigation information.

Key words nulling antenna, satellite navigation, microstrip antenna, antenna array

Class Number TN82

1 引言

卫星导航对各个行业的贡献不断加大,通信、军事、交通、广播、娱乐都需要卫星导航提供各种信息。同时,各行业对卫星导航的要求也相应提高,机动性、重量体积和稳定性都是及其重要的指标。而卫星接收天线作为接收机的第一级,对整体的性能和外形都有决定性的作用。

卫星导航的快速发展的同时,空间电磁环境复

杂,各种频率和强信号的电磁波对微弱的卫星信号来说无疑具有很大的威胁,有效的抑制干扰信号和高效的接收有用信号在复杂环境中对卫星导航高依赖性的机动设备来说时至关重要的。调零天线是目前抑制干扰信号的主流技术之一。

调零天线必然带来接收机的多通道,接收机的体积和重量的限制在实际应用时是一个重要参数。而众多天线种类中,微带天线具有剖面低、体积小、重量轻、易于加工、便于实现各种极化和多频工作、

• 收稿日期:2009 年 4 月 27 日,修回日期:2009 年 5 月 25 日

作者简介:赵凯,男,硕士研究生,研究方向:三合一卫星导航系统。谭启国,男,助理工程师,研究方向:卫星导航。王锡良,男,博士,副教授,研究方向:微波通信。

安装简便和成本低廉的优点,是调零天线的最佳选择。目前,微波仿真软件技术成熟,天线仿真准确快捷,使天线的成品率提高和设计时间缩短提供了帮助。其中两个著名软件 CST 和 HFSS 对微带天线进行仿真和实际测试的结果相当吻合。

2 微带天线的理论分析

微带天线的辐射主要由贴片开路边缘场引起,辐射理论模型主要有腔体模型,传输线模型和模式展开模型,下面简单介绍其中两类模型。

1) 微带天线传输线模型:微带贴片单元可看作一个没有很理想变化的传输线谐振器^[1~2],场只沿半波长变化,辐射在开路端边缘场产生,可以用两个相距半波长缝隙等效,每个缝隙场具有次偶极子近似的辐射场:

$$\vec{M} = \vec{z} 2E_x = \vec{z} 2V_0/h \quad (1)$$

2) 腔膜理论:微带贴片和地板之间区域看作是沿周周边缘的磁壁和上下两个电壁围成的腔体^[3],天线场则定为腔体的场,用腔体边界理论求出方向图等。下式为腔体 model 的关系式:

$$\vec{E}_{tm} = \varphi_{nm} \vec{z}, \vec{H}_{tm} = \vec{z} \times \nabla_t \varphi_{nm} / j\omega\mu \quad (2)$$

$$(\nabla_t^2 + k_{nm}^2) \varphi_{nm} = 0 \quad (3)$$

$$\partial \varphi_{nm} / \partial n = 0 \quad (4)$$

3 微带天线的设计

1) 微带贴片天线单元设计

任意极化来波都可以由圆极化天线收到,而圆极化天线辐射的圆极化波也可以由任意极化的天线收到,所以圆极化天线的通信稳定性好。并且圆极化天线具有旋向正交性,圆极化波入射到反射体后反射波变为反旋向,以此能较好地抑制多径干扰,对卫星通信系统而言十分重要。由于圆极化天线具有较强的抗干扰能力和优良的通信特性,被广泛地应用于卫星定位、电子侦察和干扰领域,北斗系统也采用圆极化形式。

微带贴片天线与卫星发射信号相匹配,也要求右旋极化,且满足低轴比宽带特性和较高的增益。常用微带贴片天线主要有三角形、圆形和矩形 3 种形式。三角形微带贴片的增益低,而圆形贴片波束宽度较窄,均无法满足系统通信要求,矩形微带贴片为其中的最佳选择^[4]。

2) 圆极化微带天线的实现方法

下图为微带贴片天线单元,调零天线的调零原

理基于自适应调零算法和阵列天线理论,采用多振元形式,要求贴片单元易于安装调试,而侧馈微带线馈电方式的尺寸大不适合机动设备卫星定位系统的安装,从而采用背馈形式馈电,这种方式的另一个好处是和 LNA 的连接方便。天线阵列尺寸受整体定位系统设计制约,反射面比较小,同时由于加工条件、介质基板材料厚度和介电常数的限制,如果采用系统信号带宽,一旦出现频漂而必将带来天线的手工调试,则可能带来的天线轴比和增益的不一致性难以控制,这样对系统的调零准确性就带来影响,尽可能保证天线加工出来后不调就达到较好的一致性。因此带宽选择为 70MHz,从而在材料有限的情况下增大了带宽,增加了设计难度。

方形地板长度 30mm,尺寸较小,可方便用于各种场合。

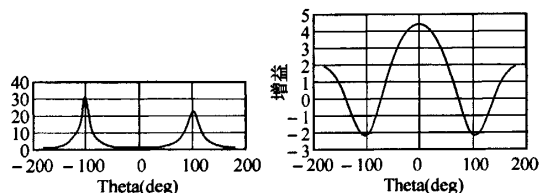


图 1 轴比(AR)结果

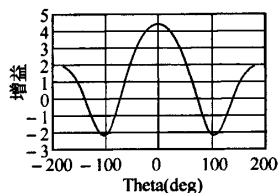


图 2 增益特性

仿真结果,中心频率 2491MHz,带宽 2460~2530MHz,中心频率增益 4.4dBi,仰角 $\geq 10^\circ$ 时增益 ≥ -2 dBi,中心方向 AR 为 1.45dB,极化纯度优良。

3) 阵列的设计

阵列的设计与采用的功率倒置算法(PI)相关,如图 3,算法可对各阵列通道的幅度相位加权处理,从而实现抗干扰目的。PI 的基本原理是将卫星定位信号带内大于噪声功率的信号抑制到噪声功率之下,也就是说只对同频强信号抑制,而卫星信号的功率大概在 -130dbm 左右,功率很低,调零后对卫星信号本身没有影响,从而实现了抗干扰调零的目的。对各阵列加权为 $w = [w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4]^T$,加权系数对幅相均有作用,各天线的信号(包括干扰信号)为 $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$,则输出为 $y = wx^T$,求解该矢量得出输出的最优解,便为抗干扰之后的最佳输出结果^[5]。

阵列设计涉及阵元数量和布阵形式两个方面。由自适应调零算法可知一个 N 元的阵列可形成 $N-1$ 个可控零陷,即阵元数量越多,能抗更多的干扰,并且随着阵元数量的增加,阵列的口径更大,能

实现的零陷也更深。但是阵列数量的增加,整体调零天线的复杂度和成本等都大为增加并且互耦作用明显^[6]。综合实际考虑,采用 4 个单元。

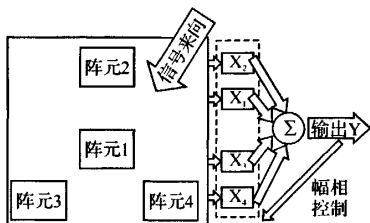


图 3 调零天线结构框图

布阵形式的考虑则为实现全方向抗干扰来源目的,众所周知,线阵在方向图可控能力和体积都是不适合的,平面阵形式中,有圆周分布和 Y 型分布,而 Y 型阵在阵元分布与信号来向分布的空间不相关方面具有优势,最终采用 Y 型分布,间距综合考虑阵元互耦和旁瓣抑制选择半波长^[7]。

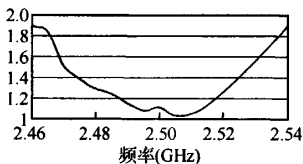


图 4 天线驻波实测结果

调零天线 PI 算法是对带内强信号进行抑制,因此,对各单元的增益一致性要求较高,设计时尺寸要选择恰当,采用板材稳定性高。因此,采用了 AD1000 型高稳定性材料,并且加工误差在 $\pm 0.1\text{mm}$ 之内,测试所得各单元均达到设计指标,且一致性好,有效的减小了抗干扰的误差,完成设计要求。

4 微带天线的测试

天线测试的准确性是整个天线研制过程中是重要的一个环节。目前天线增益测量方法有:射电天文法、比较法、三天线法、波束宽度法和方向图积分法等^[8]。其中常用的是用标准线天线的比较测试方法。由于待测圆极化天线不是理想的而是椭圆极化,本次设计的右旋圆极化天线有左旋分量的存在。所以,该天线的增益测试受到左旋极化分量的影响,在此介绍了待测天线轴比对增益影响的修正公式,该公式结合实际测试,能准确得出天线增益结果。

椭圆极化轴比定义为长轴与短轴之比,用 r 表示,则用分贝表示的轴比 AR:

$$AR(\text{dB}) = 20\lg(r) \quad (5)$$

线极化和圆极化为椭圆极化的特殊情况,所

以,该修正公式不仅适合椭圆极化,也适合圆极化和线极化等各种极化情况。

椭圆极化波分解可分解为两个正交的线极化波,从而椭圆极化的天线增益可表示为:

$$G(\text{dB}) = 10\lg(G_L + G_S) \quad (6)$$

式中 G_L 、 G_S 分别为椭圆的长轴和短轴的增益。测试中,待测天线是线极化的,所以,可以方便地测出长轴部分的增益而短轴的增益通过轴比一增益的修正公式得出,修正公式如下:

$$K = 10\lg(1 + 10^{-AR/10}) \quad (7)$$

待测天线精确增益的测试和计算公式为:

$$G(\text{待测}) = G(\text{标准}) + P(\text{待测}) - P(\text{标准}) + K \quad (8)$$

5 结语

抗干扰调零天线的使用在当今复杂环境中实现正常卫星导航信息的接受是至关重要的。微带天线阵列的优良特性是实现抗干扰调零天线的前提条件。并且,天线的外形直接影响到整个调零系统的尺寸,阵列的发展在自适应调零的稳定可靠性和小型化发展的关键课题之一。

参考文献

- [1] 鲍尔 U, 布哈蒂亚 P 著. 梁联倬, 寇廷耀, 译. 微带天线 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1984
- [2] 钟顺时. 微带天线理论与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991
- [3] J. J. Wang. Circuit Model of Microstrip Patch Antenna on Ceramic Land Grid Array Package for Antenna-Chip Codesign of Highly Integrated RF Transceivers [J]. IEEE Transaction on antennas and propagation, 2005, 53(12): 3877~3883
- [4] 韩玲, 张志杰. 微带贴片天线的设计与仿真 [J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16(1): 268~271
- [5] 秦振华. 自适应天线阵 [J]. 遥测遥控, 1995, 6(6): 50~59
- [6] 高雪, 胡鸿飞, 傅德民. 自适应天线阵中单元互耦对系统性能的影响 [J]. 西安电子科技大学学报, 2001, 28(5): 573~576
- [7] 王伟. 改进的 GPS 抗干扰自适应天线阵性能研究 [J]. 通信技术, 2008, 41(8): 76~78
- [8] David M. Pozar, Microstrip Antennas [J]. PROCEEDINGS OF THE IEEE, 1992, 80(1): 79~91

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>