

弹载圆极化微带天线设计*

常树茂

(西安邮电学院, 西安 710061)

摘 要:通过理论分析和 HFSS 三维电磁结构软件仿真, 设计出一种圆形弹载圆极化微带天线。该天线在 $\pm 60^\circ$ 的天线方向扫描空间内, 天线极化轴比为 1.06~3.3dB, 增益为 4.7dBi。文中给出了圆形圆极化天线的具体设计尺寸和仿真天线方向图、极化轴比图和驻波图。

关键词:弹载天线; 圆极化天线; 圆形微带天线

中图分类号: TN82 **文献标志码:** A

Design of a Missile-borne Circularly Polarized Microstrip Antenna

CHANG Shumao

(Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: The design of a missile-borne circularly polarized circular microstrip antenna was proposed. Theoretical analysis and simulation results with HFSS show that the antenna can achieve a maximal gain of 4.7dBi and polarization axial ratio of 1.1~3.3dB in the direction of $\pm 60^\circ$ scanning space. The results of the simulated and the antenna size were presented.

Keywords: missile-borne antenna; circularly polarized antenna; circular microstrip antenna

0 引言

炮射弹载雷达系统是目前所研制的精确打击武器系统之一。要使这种先进的武器系统能在全天候的战场上都有较高的命中率, 弹载雷达天线的极化应为圆极化。因为水滴对圆极化波的反射是反旋的, 而雷达目标对入射的圆极化波产生的反射波是椭圆极化波, 两者具有相同的旋向。因此, 圆极化波的抗雨雾能力比线极化波强得多。

圆极化波天线的结构多种多样, 但对于弹载雷达而言, 所设计的天线在满足电气技术指标的条件下, 还必须具有空间尺寸小, 抗过载能力大。而微带天线低剖面尺寸小; 辐射面垂直弹轴放置抗过载强; 也更容易实现圆极化。所以文中选用微带天线形式, 给出了弹载圆极化微带天线的设计公式、具体尺寸和最终仿真结果。这种设计结果经实践证明是正确的和实用的。

1 天线设计理论

1.1 圆形微带天线设计理论

微带天线的形状有很多种, 最常用的是矩形、圆

形、圆环形和三角形。因为弹体为圆形, 所以弹载天线选择圆形微带天线较合适。设圆形微带天线的贴片半径为 a , 当 $h \ll \lambda_0$, 贴片与接地板之间可看成是四周为磁壁, 上下为电壁的谐振空腔。用模展开法求解空腔内场, 得圆形微带天线 TM_{mn} 模的谐振频率 (GHz) 为^[1]:

$$f_{mn} = \frac{15\chi'_{mn}}{\pi a \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

式中 a 是计入边缘效应后的等效半径 (cm), 它与物理半径 a' 的关系如下:

$$a = a' \left[1 + \frac{2h}{\pi a' \epsilon_r} (\ln \frac{\pi a'}{2h} + 1.7726) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

圆形微带天线一般工作在 TM_{11} 主模。对主模有:

$$a = \frac{c\chi_{11}}{2\pi f_{11} \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.791}{f_{11} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

工作在 TM_{11} 模的谐振电阻为:

$$R_{11} \approx \frac{1}{G_r} \frac{J_1^2(k_{11}\rho_0)}{J_1^2(k_{11}a)} \quad (4)$$

式中: ρ_0 是馈点到圆形微带中心的径向距离; G_r 是圆形微带天线的辐射电导。

由上式可知, 随着馈点移向圆形天线中心, 输入电阻不断减小, 直至为零。因此可选择馈点径向位置

* 收稿日期: 2009-10-26

基金项目: 985 工程 (222105) 资助

作者简介: 常树茂 (1957-), 男, 河南延津人, 教授, 硕士, 研究方向: 微波技术和天线。

来获得所需的输入电阻值。

1.2 小型化微带天线设计

由于弹体的空间有限,要使微带天线能安装到弹体上,且方向性较好,进一步缩小天线尺寸是需要的。小型化微带天线结构设计方法很多^[2-5],但总体分为两大类。一类是在天线中植入槽孔的方式缩小天线尺寸^[6-7]。其基本原理是在主模电流的路径上植入槽孔,使得等效电流长度变长,进而达到天线尺寸缩小。另一类是在天线中植入电阻或短路棒的方式缩小天线的尺寸。其基本原理是在主模电流的路径上植入电阻或短路棒来改变金属片上电场的零点位置。虽然最后一类缩小的尺寸比前一类缩小的尺寸要多,但其远场的交叉极化分量,增益低。考虑天线增益、交叉极化分量及弹体天线允许的空间,本设计选择在天线中植入槽孔的方式来缩小天线的尺寸。槽的位置如图1所示。

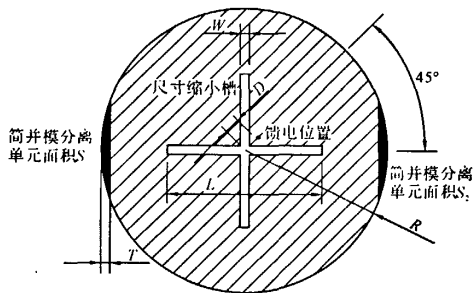


图1 微带圆极化天线辐射片

1.3 圆极化微带天线的实现

微带天线实现圆极化波常用的方法是正交馈电和一点馈电。正交馈电需用馈电网络,而馈电网络自身占用空间,这对弹载天线不太适用。一点馈电无馈电网络,馈电简单且天线整体占用空间小,所以本设计选用一点馈电方式。

根据腔模理论,在圆形微带天线上附加一筒并模分离单元 $\Delta S = S_1 + S_2 (S_1 = S_2)$,如图1所示。使筒并模分离单元的谐振频率产生分离。工作频率选在两个筒并模分离单元谐振频率之间。当筒并模分离单元大小选择合适时,对工作频率而言,一个模的等效阻抗相角超前 45° ,而一个模的等效阻抗相角滞后 45° ,从而形成圆极化波^[8-10]。圆形圆极化微带天线的筒并模分离单元的大小可按下式计算^[11]:

$$\left| \frac{\Delta S}{S} \right| = \frac{1}{1.841Q} \quad (5)$$

式中: ΔS 是筒并模分离单元的面积; S 是辐射片的面积。

$Q =$

万方数据

$$\left[\frac{120\lambda_0 h G_r}{0.705\epsilon_r \pi a^2 (1 - 3.4 H_c)} + \frac{1}{\pi h} \sqrt{\frac{\lambda_0}{120\sigma_c}} + \tan \delta \right]^{-1} \quad (6)$$

2 天线尺寸和仿真曲线

2.1 天线的具体尺寸

考虑到弹体天线的空间尺寸有限和工作频带要求,选择天线介质基片的介电常数 ϵ_r 为5,厚度 h 为2mm。利用式(1)至式(3)可以计算出圆形天线半径 R 约19.5mm。为实现圆极化波,增加筒并模分离单元。使用式(5)~式(6),计算出切角深度 T 约1.1mm。利用式(4),令 $R_{11} = 50\Omega$,计算出馈点距圆盘中心的距离 D 约2.3mm。为了实现右旋圆极化,馈点位置和槽中心线成 45° 角。为了缩小天线尺寸,在圆形天线内以圆心为垂点,垂直开2条长 L 为18mm、宽 W 为1mm的槽。由于这些槽的存在,使馈点位置稍稍移向圆心^[6]。根据经验在天线内开这样一些槽,尺寸大约能缩小约10%~20%。这里按15%缩短比,取 R 为16.6mm,馈点距圆盘中心距离 D 取2.1mm。考虑天线仿真精度和计算量,取弹体高度100mm。天线结构及坐标位置如图2所示。

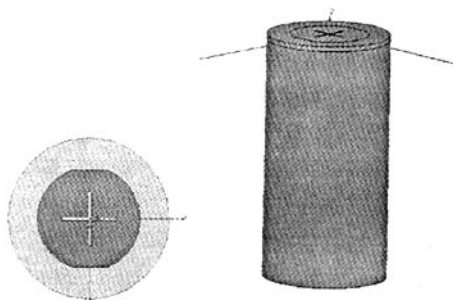


图2 天线结构图

2.2 天线仿真

设计所使用的天线尺寸有些是利用天线理论的近似公式计算所得,有些则是经验预估,这样设计的尺寸与实际工程要求是有较大的误差。根据弹体实物,利用仿真软件反复调试,最终得到满足给定指标的天线。Ansoft公司的HFSS三维电磁结构仿真软件是一个仿真精度很高的软件。只要考虑的仿真结构尺寸和实际工作的结构尺寸很一致、基板材料的介电常数很一致。由经验知,仿真结果和实测结果基本吻合。

使用HFSS仿真软件进行仿真。经过对天线各个参数的多次调整和优化,最终设计出的天线尺寸为:辐射面半径 R 为16mm,开槽宽度 W 为1mm,开槽长

度 L 为 16.8mm, 切角深度 T 为 0.95mm, 馈点距中心距离 D 为 1.9mm。

2.3 仿真曲线

图3是XOZ面右旋圆极化方向图;图4是YOZ面右旋圆极化方向图;由图看出半功率波瓣宽度超过 100° , 天线增益达到4.7dBi。

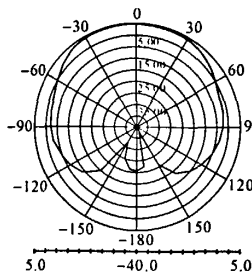


图3 弹载天线 XOZ 面方向图

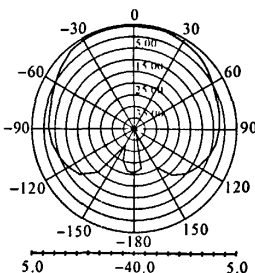


图4 弹载天线 YOZ 面方向图

图5是极化轴比图, 天线正前方的极化轴比是1.06dB, 在 $\pm 60^\circ$ 的天线方向扫描空间内, 天线极化轴比小于3.3dB。

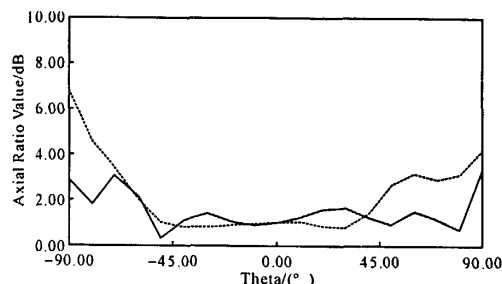


图5 弹载天线极化轴比图

图6是天线输入端的史密斯圆图。图7是天线输入端的电压驻波比图。驻波比小于1.5的频带宽度大于1.8%。驻波比小于2的频带宽度大于2.5%。

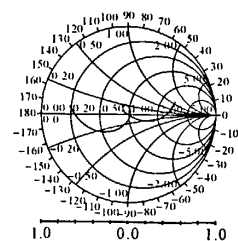


图6 弹载天线输入端的史密斯圆图

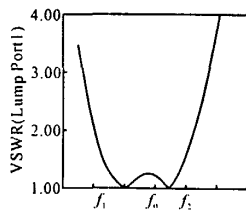


图7 弹载天线电压驻波比

3 结论

文中设计的弹载圆极化微带天线, 在 0° 方向上极化轴比是1.06dB, 在 $\pm 60^\circ$ 的天线方向扫描空间内, 极化轴比小于3.3dB, 说明天线圆极化效果好。天线方向图后向辐射小, 前向辐射的半功率波瓣宽度超过 100° , 天线增益达到4.7dBi。这样的辐射方向图优于总体给定的天线指标。微带天线的工作带宽主要由天线输入端的电压驻波比决定。由天线电压驻波比图知, 天线驻波比小于2的频带宽度大于2.5%。这个频带宽度满足给定天线的技术指标。

根据仿真设计加工的天线由于基板材料的实际介电常数值和标称的介电常数值稍微有差异, 实际产品的测试和调试是需要的。经改进后的天线满足技术指标要求, 已应用到产品之中。

参考文献:

- [1] 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: 41-46.
- [2] R waterhouse. Small microstrip patch antennal[J]. Electronics Letters, 1995, 31: 604-605.
- [3] R B waterhouse, S D Targonski. Performance of microstrip patches incorporating a single shorting post[C]// IEEE AP-S Int. Symp. Dig., 1996: 29-32.
- [4] M Sanad. Effect of the shorting posts on short circuit microstrip antennas[C]// IEEE AP-S Int. Symp. Dig., 1994: 794-797.
- [5] J H Lu, C L Tang, K L Wong. Slot-coupled small triangular microstrip antenna[J]. Microwave Optical Technology Letters, 1997, 16: 371-374.
- [6] K L Wong. Compact and broadband microstrip antennas[M]. John Wiley & Sons, Inc. 2002.
- [7] 詹正义. 圆形微带天线之新型应用设计[D]. 高雄: 台湾国立中山大学, 2000: 78-90.
- [8] J R James, P S Hall. Handbook of microstrip antennas[M]. London: Peter Peregrinus Ltd, 1989.
- [9] R C Johnson, H Jasik. Antennas engineering handbook[M]. New York: McGraw-Hill, 1984.
- [10] P C Sharma, K C Gupta. Analysis and optimized design of single feed circularly polarized microstrip antennas[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1983, 31(6): 949-955.
- [11] 张钧. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988: 216-229.

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>