

Ka 波段线极化波导宽边缝隙阵列天线的仿真

闫丕贤 刘涌 吕昕

(北京理工大学信息与电子学院 北京 100081)

摘要: 波导缝隙阵列天线是在波导壁上开缝实现辐射的一种口径天线。本文利用传统经典计算理论系统研究了波导宽边谐振缝隙阵列天线中缝隙的尺寸设计,通过现代电磁仿真软件 HFSS 建立天线完整模型进行优化仿真。天线为 Ka 波段阵列,利用背面耦合波导馈电。该天线整合了高增益、低副瓣的优点,仿真结果良好。

关键词: 阵列天线,波导缝隙, HFSS

A Design of Ka Band Linear Polarization Waveguide Slot Array Antenna

YAN Pi-Xian, LIU Yong, LV Xin

Lab MCES, School of Information and Electronic, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, P. R. China

Abstract: Waveguide slot array antenna is realized in the waveguide wall radiation in a slit aperture antenna. In this paper, a Ka band waveguide broadside resonant slot array antenna was designed and the sizes of the slots were calculated by the traditional theory of classical computing system. A complete model for simulation of the antenna was built through modern electromagnetic simulation software HFSS, and the model was also taken analysis and optimized the establishment. This antenna was using the back of the coupling waveguide to feed. The simulation results integrated advantages of high-gain, low sidelobe.

Key words: array antenna, waveguide slot, HFSS

1 引言

近来,随着对雷达抗干扰要求的提高、脉冲多普勒可视雷达的发展,要求天线应具有低副瓣或极低副瓣的性能。波导缝隙天线是在波导壁上开出窄缝,电磁波通过缝隙向外空间辐射而形成的一种口径天线。自 Bethe 和 A. F. Stevenson [1] 提出缝隙辐射问题以来,这种形式的天线引起人们广泛关注和研究 [2-5]。波导缝隙阵列天线具有口面场分布容易控制、天线口径效率高、性能稳定、结构简单紧凑、强度高、安装方便等优点,在地面、舰载、机载、弹载、导航、气象等领域得到广泛应用。

波导缝隙天线的制作工艺要求高,同时其成品率较低,因此成本很高。相应的改进措施有波导-微带复合缝隙阵列天线。由于介质对缝隙的电特性和缝隙之间的互耦影响较大,敷介质矩形波导缝

隙天线阵的设计较为困难。

如果用金属片开缝覆盖于波导槽上,利用钎焊技术结合为一体,则可以等效为波导缝隙天线,这样加工较方便。本文根据 Ansoft HFSS 软件的完善计算功能,直接建立模型进行参数的优化设计,方法比较有效。

2 波导缝隙阵的仿真设计

2.1 单缝性能的 HFSS 仿真

波导宽边单个缝隙尺寸如图 1 所示,示意图见图 2。缝隙谐振时,其等效电路的导纳虚部是 0,实部为 g_n , 故有 $\text{Im}(Y)=0$ 。在模型中无法直接观测缝隙中心的导纳,利用 $\lambda/2$ 传输线的特性,可知距缝隙中心为 $\lambda_g/2$ 的面上所等效的导纳特性与缝隙中心相同。在波导短路端加一个厚度为 0.05mm 的导体实现短路,输入端口设置为 waveport。波导开缝处通过剪切形成狭缝。建立一个辐射边界并仿真得到其方向图。

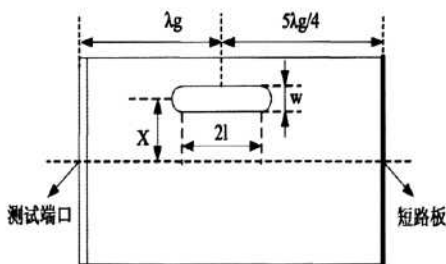


图 1 缝隙尺寸示意图

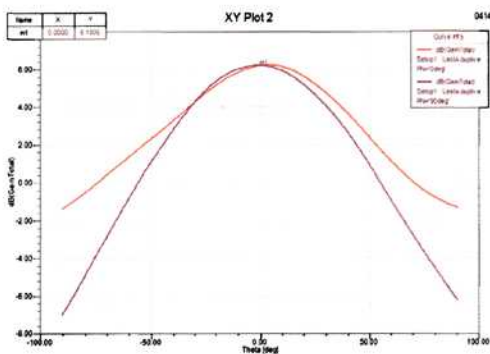


图 2 单个缝隙辐射方向图

利用 HFSS 软件建立单个缝隙的模型,经过对天线缝隙长度的优化,得到最佳谐振缝隙长度 l 。得缝隙的等效导纳虚部极接近 0。这说明设计的缝隙已经工作在谐振状态。

此时得到天线单元的辐射方向图如图 2。可见,利用 HFSS 软件仿真的结果与缝隙长度的近似结论相同,可以进行阵列仿真。

2.2 天线参数设定

将天线的规格定为 Ka 波段 2×32 垂直线极化阵列。取用尺寸为 $3.556\text{mm} \times 7.112\text{mm}$ 的标准矩形波导。按照中心频率计算波导波长,单位缝隙中心间距为 $d = \lambda_g/2$ 。确定缝隙单元的间距、数目后,用泰勒分布来计算缝隙单元激励电平。阵列采取以中心向两端的对称电流激励,利用 MATLAB 软件语言编写程序计算激励电平,得到单行 32 单元的归一化电流激励。计算出了缝的相对激励幅度 a_n , 就可以确定常数 K。然后由式 $g_n = Ka_n^2$ 可以确定各缝隙的导纳值 g_n ; 由式

$$\frac{g}{Y_0} = 2.09 \frac{\lambda_g}{\lambda_0} \frac{a}{b} \cos^2 \frac{\pi \lambda_0}{2 \lambda_g} \sin^2 \frac{\pi x_1}{a} \quad (1)$$

计算出各缝的偏置位置的大小。这样计算出了各单元缝隙偏离中线的距离。对于每个缝隙偏置，进行单缝仿真，最后得到各缝隙的谐振长度。缝隙宽度统一取 $w = 0.6 \text{ mm}$ 。

天线形式为波导宽边缝隙谐振阵列，由前人设计经验可知，缝隙间的互耦对于缝隙的导纳参数影响较大。利用 HFSS 仿真单缝模型提取出导纳参数，并建立几个缝隙联合仿真模拟互耦的影响，根据不同位置的缝隙互耦仿真并提取参数，利用 MATLAB 编写程序得到了初步的互耦影响。经过迭代运算，最终得到的结果与仿真结果很接近，可以在小规模阵列中使用。

2.3 天线优化仿真

确定了阵列的单元数和缝隙的偏置位置、长度宽度，利用 HFSS 建立模型。按照与缝隙单元的建立与仿真相同的方法，在 HFSS 中建立一个 2×32 规模的波导缝隙阵列天线模型。

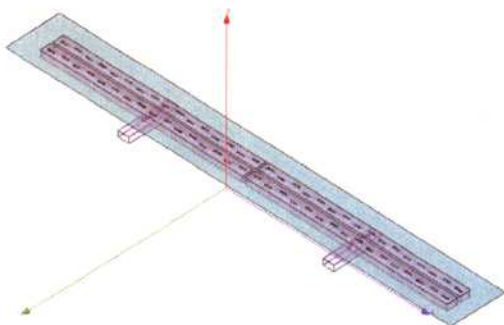


图 3 2×32 缝隙阵列模型图

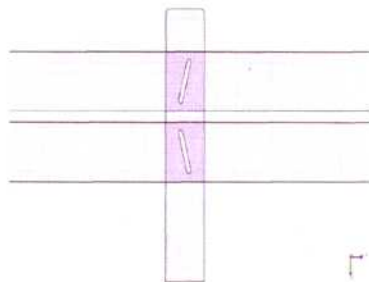


图 4 馈电波导及耦合缝隙示意图

经过调试，得到中心频点的方向图如图 5 所示，工作频带内的驻波比小于 2，见图 6 所示：

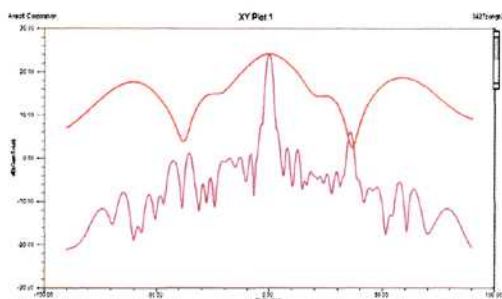


图 5 波导缝隙阵 E 面与 H 面方向图

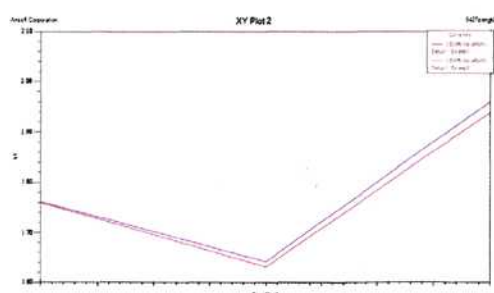


图 6 驻波图

通过上图可以发现，设计的波导缝隙阵列实现了 24 dB 的增益，以及频带内小于 2 的驻波比，E 面 $\pm 30^\circ$ 内的副瓣电平小于 -22 dB；半功率波束宽度为 3° 。数据见表 1。

在 E 面方向图一侧的 40° 方向有较明显的副瓣，可能是互耦的影响没有完全消除所致，可以进一步进行优化。

表 1 仿真数据

天线	增益 (dB)	E 面副瓣电平 (dB)	E 面半功率波束宽度	驻波比
波导缝隙阵	24	-18	3°	<2

3 总结

本文设计了一种 K a 波段的线极化波导宽边谐振缝隙阵列天线, 考虑到波导缝隙天线的互耦影响缝隙的导纳参数, 利用 HFSS 提取单个缝隙以及几个缝隙互耦的导纳参数, 并通过 MATLAB 进行编程计算, 两者结合能够比较有效地消除小阵列缝隙天线的缝隙互耦影响, 在设计单元激励时有较好的参照。

以此为根据, 利用 HFSS 软件建立模型, 通过 HFSS 的计算能力, 进行参数的优化设计。得到的天线实现了高增益、低副瓣的要求, 具有可实现性。该天线在 K a 波段实现了较好的工作特性, 可以尝试用金属板加工缝隙面, 并与波导槽进行钎焊实现波导缝隙阵列。

参考文献

- [1] A F Stevenson. Theory of Slot in Rectangular Waveguide. *J A P*, 1948, 19(1):24-28.
- [2] W R O'Loughlin, Y U Kim, R S Elliott. Pattern Synthesis for Forward-fire/ Backward-fire Linear Array. *IEEE Trans. A P*, 1989, 37 (6):721-727.
- [3] G. J. Stern, R. S. Elliott. Resonant length of longitudinal slots and validity of circuit representation: Theory and Experiment. *IEEE Trans. A P*, 1985, 33 (11): 1264-1271.
- [4] R. S. Elliott. Designing slot arrays including internal mutual coupling. *IEEE Trans. AP*, 1986, 34(9):1149-1154.
- [5] F. L. Whetten, C. A. Balanis. Effects of a dielectric coating on leaky-wave long-slot waveguide antennas. *IEEE Trans. A P*, 1996, 44(8):1166-1171.

作者简介

闫丕贤: 男, 北京理工大学信息与电子学院电磁场与微波技术硕士研究生, 主要研究方向为天线设计以及馈电网络一体化技术。

刘涌: 男, 北京理工大学讲师, 主要从事微波通信、天线技术、微波器件、THz 等方向的科学研究以及教学工作。

吕昕: 男, 北京理工大学教授, 博士生导师, 从事微波通信、天线技术、微波器件、THz 等方向的科学研究以及教学工作。

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>