

窄边平板缝隙天线设计

胡佳旺¹ 王 建²

(电子科技大学电子工程学院, 成都 611731)¹ (电子科技大学电子工程学院, 成都 610054)²

摘要: 本文介绍了一种窄边平板缝隙天线的设计方法, 简要给出了辅助设计公式。通过小阵模拟实际缝隙所处的互耦环境来提取缝隙有源谐振导纳, 再采用插值方法得到平板天线每个缝隙的倾角和切割深度。设计中考虑到了交叉极化分量的抑制, 获得了良好的效果。平板缝隙天线的最后总体仿真结果获得了较低的副瓣电平, 到达了设计目标。

关键词: 窄边缝隙, 平板天线, 谐振导纳, 低副瓣

The Design of Inclined Slot Plane Array

Hu jiawang¹ Wang jian²

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731;
School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)²

Abstract: In this paper, a method for design the inclined slot plane array is presented and the design formulas are given briefly. Using the small array to model the mutual coupling circumstance, the active slot conductance is gotten. Then the resonant cutting depth and the angle of each slot in the plane array are calculated by interpolation method. In the design, suppressing the cross polarization level is taken into account, and a good result is obtained. The simulation result meets the design objectives and the antenna owns low sidelobe.

Keywords: inclined slot; plane array; resonant conductance; low sidelobe

1 引言

波导窄边缝隙天线由于具有结构紧凑、加工方便、成本低、增益高、驻波小、容易实现低副瓣等特点, 近年来被广泛应用于舰船导航、目标探测等领域。由于窄边缝隙没类似于宽边缝隙阵列的理论设计公式^[1], 目前主要依靠实验和仿真进行设计。本文采用仿真方法提取有源缝隙谐振电导, 经过插值运算得到缝隙的设计参数, 并考虑到了对交叉极化分量的抑制, 获得了良好的效果。

2 主要辅助设计公式

2.1 单元间距选取原则及公式

由于开有窄边缝隙的波导处于行波状态, 为了

避免缝隙引起的散射波在波导端口同相叠加, 使输入端驻波过大, 造成驻波盲点^[4], 缝隙之间的间距一般取为大于或小于二分之一波导波长。另外, 单元间距与波束最大值指向还近似有以下关系:

$$\sin \theta_0 = \frac{\lambda}{\lambda_g} - \frac{\lambda}{2d} \quad 2.1-1$$

其中 θ_0 为波束最大值指向与阵轴法向的夹角。综合考虑以上原则可以确定出缝隙之间的间距。

2.2 单元激励幅度与缝隙谐振导纳关系式

矩形波导窄边缝隙阵的等效电路如图 1 所示, 其中 P_i 和 P_{ri} 分别为第 i 个缝隙的入射功率和辐射功率, g_i 为缝隙导纳, P_i^+ 为经过第 i 个缝后向右边传输的功率, d 为缝隙之间的间距, P_L 为负载吸收功率。设第 i 个缝的激励幅度为 f_i , 其中 $i=1, 2, 3, \dots$,

N, 设 α 为波导衰减因子。为计算方便, 在此将各个缝的辐射功率用第一个缝的辐射功率归一化, 这样:

$$A_i^2 = \frac{P_{ri}}{P_{r1}} = \frac{f_i^2}{f_1^2} \quad 2.2-1$$

可以证明^[5],

$$g_i = \frac{A_i^2 g_{i-1}}{A_{i-1}^2 (1 - g_{i-1}) e^{-2\alpha d}}, \quad 2 \leq i \leq N \quad 2.2-2$$

$$g_{i-1} = \frac{g_i A_{i-1}^2 e^{-2\alpha d}}{A_i^2 + g_i A_{i-1}^2 e^{-2\alpha d}}, \quad 2 \leq i \leq N \quad 2.2-3$$

效率为:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_1 - P_L}{P_1} \times 100\% \\ &= g_1 \sum_{i=1}^N A_i^2 \times 100\% \end{aligned} \quad 2.2-4$$

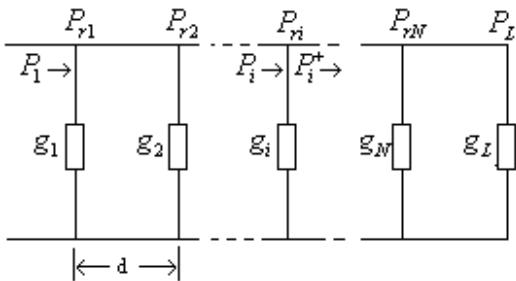


图 1 窄边缝隙阵等效电路

2.3 缝隙导纳与波导端口 S 参数关系式

对于一个开有 N 个尺寸和偏角相同缝隙的阵列, 我们可认为所有缝隙的谐振电导相同均为 g , 于是

$$g = 1 - e^{2\alpha d} \times 10^{\frac{S_{21}}{10N}} \quad 2.3-1$$

其中 S_{21} 为波导两个端口之间的传输系数, 可以由仿真或实验得到。

3 平板缝隙阵设计

3.1 缝隙谐振导纳及切割深度的提取

我们建立一个 5×12 的窄边缝隙小阵模型来提取有源谐振导纳。阵列中每个缝隙的偏角和切割深度均相等。通过 HFSS 仿真, 在某一倾角下, 我们调整缝隙的切割深度, 使波导两端口之间的传输系数 S_{21} 的虚部接近 0, 然后记下此时的切割深度, 该深

度即为这一倾角下的缝隙谐振切割深度。重复以上做法可以得到其它倾角下的切割深度, 并可以由式 2.3-1 计算出不同倾角对应的谐振电导。以下两图为提取的小阵中心波导上窄边缝隙的谐振电导和谐振切割深度。

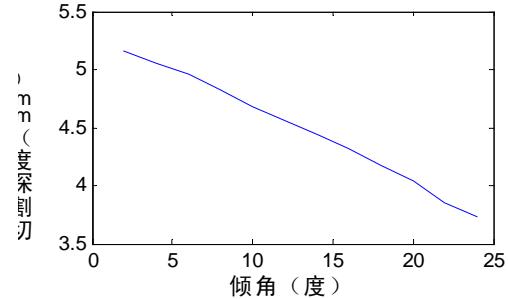


图 2 倾角与切割深度关系图

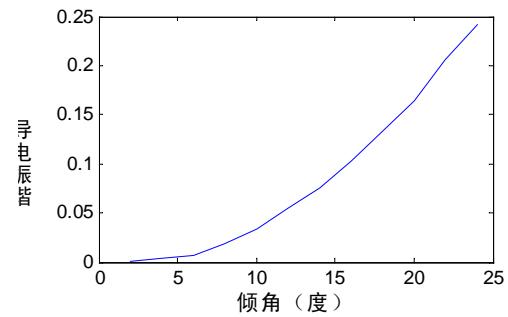


图 3 倾角与谐振电导关系图

3.2 平面阵设计

我们在平面阵的两个主面方向均采用泰勒分布。由式 2.2-2、式 2.2-3 即可计算得出实现该泰勒分析所需的缝隙导纳, 然后用 2.2-4 可以计算出理论效率, 若不符合要求, 可以改变最大电导值, 再由 2.2-2 和 2.2-3 向前后迭代出其他缝隙的电导值。最后根据图 2 图 3 的数据插值得到每个缝隙的倾角和切割深度。

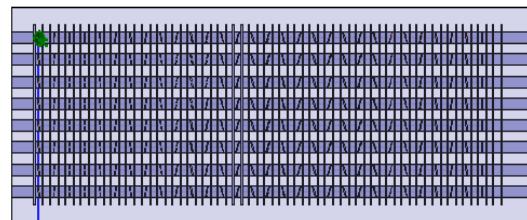


图 4 平板缝隙阵模型

图 4 即为我们采用上述方法设计的平板缝隙阵模型。该天线由 8 根波导平行排列构成, 每根波导

上开有 30 个缝，隔板与波导成正交放置。由于窄边缝隙依靠缝隙的倾角来控制其激励幅度的大小，其必然引入交叉极化分量。设计中若不对交叉极化进行抑制，则交叉极化分量引入的波瓣只比主极化分量波瓣小 12dB 左右。

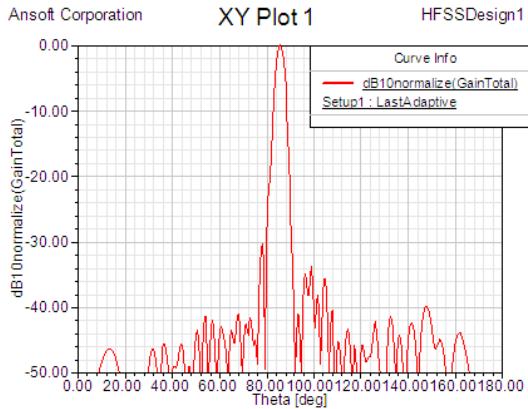


图 5 E 面方向图

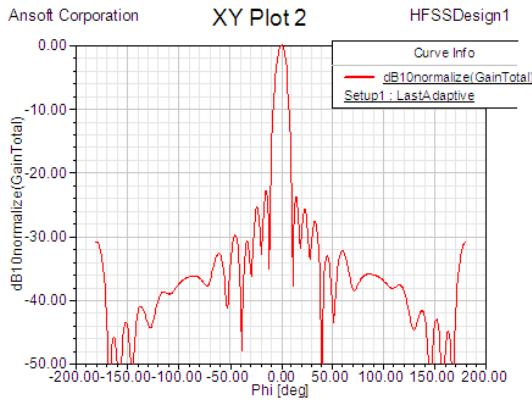


图 6 H 面方向图

对交叉极化的抑制可以采用在阵列前方加装栅网，加装平行隔板，以及采用相邻波导对应缝隙反向放置等方法。第一种方法加大了天线的整体尺寸，第三种抑制方法则只在方向图的主平面有较好的抑制作用，因此实际设计中我们采用的是加装平行隔板。我们用 HFSS 对天线模型进行了仿真，从结果可以看到，其交叉极化电平得到了很好的抑制，E 面副瓣电平达到了 30dB，H 面副瓣电平为 22dB，工作频带内各个波导端口的驻波系数小于 1.05。

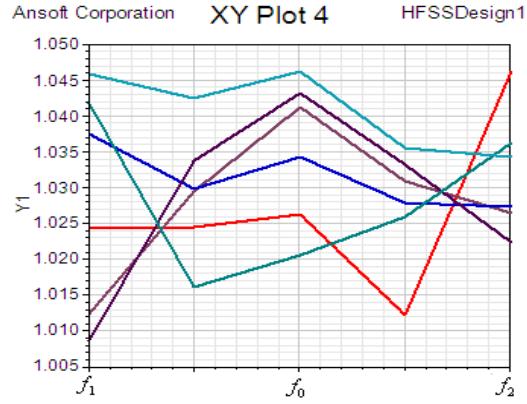


图 7 频带内各波导输入端口驻波系数

4 结论

本文通过构建小型阵列来提取有源缝隙导纳和谐振切割深度，并通过插值方法计算出各缝隙的详细参数。天线最终总体仿真结果达到了设计目标，交叉极化电平得到了有效抑制。

参 考 文 献

- [1] Robert S.Elliott, An improved Design Procedure for Small Arrays of Shunt slots, IEEE.AP,1983
- [2] George W.Raffoul,John L.Hilburn,Radiation, Efficiency of an X Band Waveguide Array,IEEE.AP,1974
- [3] 钟顺时, 费桐秋, 孙玉林, 波导窄边缝隙天线的设计. 西北电讯工程学院学报,1976
- [4] 王建, 林昌禄, 矩形波导窄边缝隙线阵工作盲点的确定. 电子科技大学学报,1997.6
- [5] 王建, 非谐振式波导窄边缝隙天线阵的设计. 成都电讯工程学院学士论文,1982

作者简介：

胡佳旺，男，硕士研究生，主要研究领域为波导缝隙天线；
王建，男，教授，主要研究领域为天线理论与技术，电磁散射等。

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,一直致力于专注于微波、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>