



基于 HFSS 软件的矩形波导宽边纵缝谐振导纳的提取研究

何义奎

(四川航天职业技术学院 电子工程系, 四川 成都 610100)

摘 要: 分析了矩形波导宽边纵向缝隙的谐振导纳与波导散射参数的关系, 谐振导纳曲线的仿真提取, 利用谐振导纳曲线设计裂缝阵列天线。

关键词: 裂缝天线; 谐振导纳; 散射参数

中图分类号: TN820.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2016) 03-0080-03

一、裂缝天线概述

波导裂缝天线是在波导表面开缝产生辐射的一种天线。将数根矩形波导并排在一起, 每根波导上都按一定规则开很多缝隙, 就构成了波导裂缝阵列天线, 这种天线的特点是体积小、重量轻、口径分布易于控制, 同时其厚度薄的特点可以与各种飞行体表面共形。这些特点使裂缝天线在航空航天飞行器上有着重要的应用。

二、缝隙的等效电路

波导可以等效为传输线, 而波导表面的缝隙则可以等效为传输线上的导纳或阻抗, 如图 1 所示。

由传输线理论可知, 为了使缝隙最大程度地辐射能量, 必须使之处于谐振状态, 此时缝隙的电导称为谐振电导。设计裂缝阵列天线, 关键是确定每个缝隙的谐振电阻, 而缝隙的谐振电阻与缝隙离波导中心线的偏离距离 (称为偏置距离) 和缝隙的谐振长度有关。所以, 设计裂缝阵列天线实际上就是求波导上每个缝隙的偏置距离和谐振长度。

设计裂缝阵列天线的传统方法是采用 elliot 的

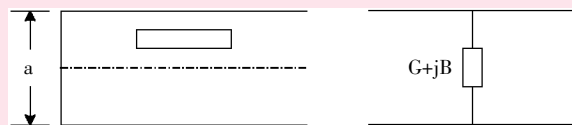


图 1 波导缝隙等效电路

三大方程, 对缝隙列写微分方程, 众多缝隙就构成微分方程组, 通过求解微分方程组得出各个缝隙的参数, 达到设计目标。但是一个成品裂缝天线一般都有几百个缝隙, 由此可知所对应的微分方程组所含的方程也多达几百个, 求解这样的方程组必须借助计算机辅助求解, 并且对计算机的性能配置也有一定要求, 这样就大大限制了天线的设计效率。

现代计算机的运算速度已远超昔日, 目前也有许多专门针对微波领域的仿真软件面世, HFSS 就是一款用于微波器件设计的优秀软件。利用 HFSS 仿真可得到开缝波导的散射参数 (称为 S 参数), 由散射参数可以换算出谐振电导值, 进而求出缝隙的偏置距离和长度。

三、矩形波导宽边纵缝导纳参数与波导散射参数的关系

收稿日期: 2016-05-12

作者简介: 何义奎 (1973-), 男, 四川旺苍人, 硕士研究生, 四川航天职业技术学院电子工程系讲师, 研究方向: 电路与系统。

实际的裂缝天线中，每根波导的一个端口是由端盖封闭的，另一个端口敞开，作为能量入口。假设每个缝隙的偏置距离相同，缝隙的谐振长度也相同，则各个缝隙的谐振导纳也相同，于是其等效电路如图 2 所示。

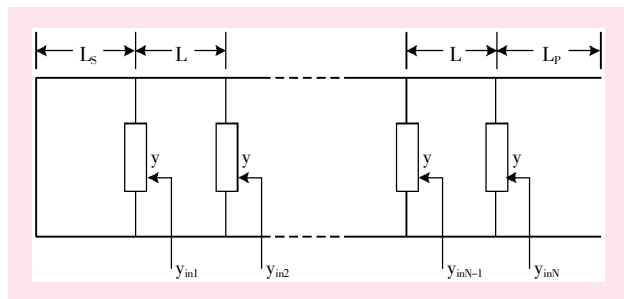


图 2 多个缝隙等效电路

由传输线理论可得到多缝隙波导第 N 个缝隙处的归一化导纳的递推公式为

$$y_{inN} = g(y_{in(N-1)}) = \frac{y_{in(N-1)} + j \tan(\beta L)}{1 + j y_{in(N-1)} \tan(\beta L)} + y \quad (1)$$

由此，可得到波导端口处的归一化输入导纳为

$$y_{in} = \frac{y_{inN} + j \tan(\beta L_p)}{1 + j y_{inN} \tan(\beta L_p)} \quad (2)$$

设驻波阵的端口反射系数为 S_{11} ，则可得端口归一化输入导纳为

$$y_{in}(y) = \frac{1 - S_{11}}{1 + S_{11}} \quad (3)$$

如果两端的两个缝隙距端口和短路端的距离分别为 λ_g 和 $\lambda_g/4$ ，当 S_{11} 的虚部为零（即缝隙有源谐振）时，则由式(3)可进一步得出每个缝隙的归一化电导为

$$y = \frac{1 - S_{11}}{N(1 + S_{11})} \quad (4)$$

通过 HFSS 仿真求出端口处的 S_{11} 参数，就可利用式(4)求出缝隙的归一化导纳 y 。

四、矩形波导宽边纵缝谐振导纳的提取

实际的裂缝阵列天线，各个缝隙辐射出的电磁场是要相互影响的，这称为互耦。为充分考虑缝隙之间的互耦，不妨设各个缝隙离波导中心线偏置距离相同，缝隙的长度也相同，虽然实际天线的各个缝隙的偏置和长度不一样，但这样的简化处理误差并不大，在工程上是可以接受的。利用 HFSS 仿真，通过改变偏置距离，并对缝隙长度进行优化，观察波导端口的 S_{11} 参数，当 S_{11} 的虚部近似为零时，就意味着全部缝隙处于谐振状态，记录此时的 S_{11} 并带入式(4)，就可以求出对应的导纳参数，于是得到很多组导纳、偏置、缝长值，再通过中间插值的方法就可以拟合出导纳随偏置变化的曲线和缝长随偏置变化的曲线。

下面以单根波导开 12 个缝隙为例，对缝隙导纳进行仿真提取。利用 HFSS 软件建立仿真模型如图 3 所示。

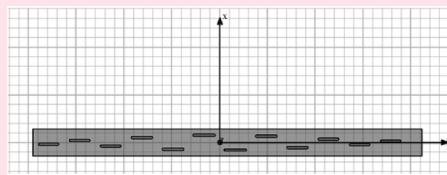


图 3 12 元线阵仿真模型

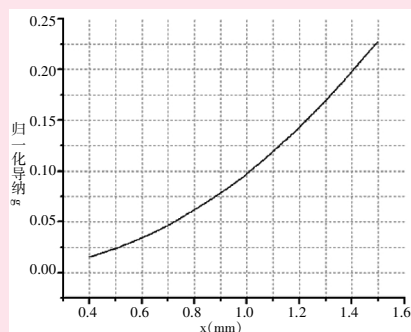


图 4 导纳随偏置变化曲线

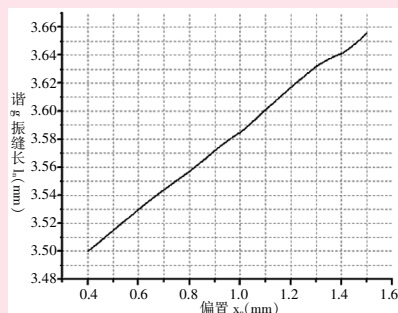


图 5 缝长随偏置变化曲线

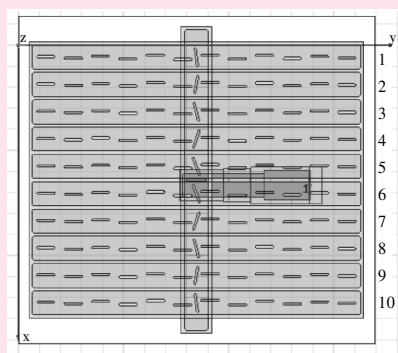


图 6 阵列天线 HFSS 模型

通过扫描优化，拟合出导纳随偏置变化曲线如图 4 所示，谐振缝长随偏置变化曲线如图 5 所示。

利用得出的导纳拟合曲线，就可以设计裂缝阵列天线了。

五、矩形波导宽边纵缝阵列天线设计

利用以上结果，准备设计一个由 10 根波导，每

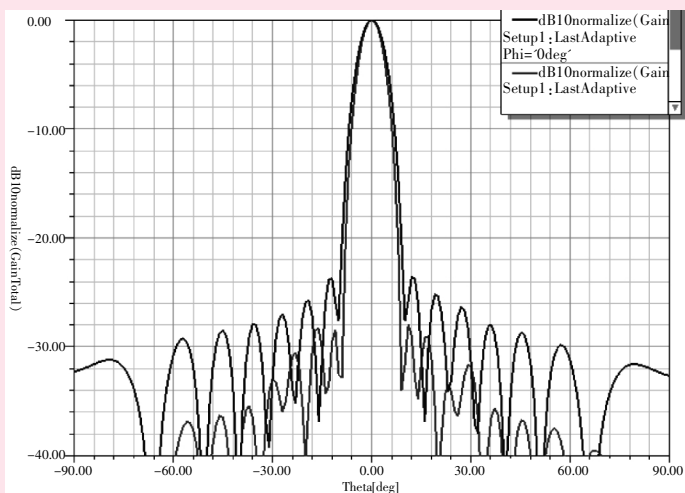


图7 天线的E面和H面方向图

个波导开 12 个缝隙的阵列天线。现根据天线增益和副瓣等指标要求求出阵列天线的阻抗(导纳)分布,由图 4 和图 5 的曲线查出对应于每个缝隙的偏置距离和谐振缝长,建立 HFSS 仿真模型如图 6 所示。

经过仿真得出天线 E 面和 H 面方向图如图 7 所示。H 面副瓣电平为 -28.2dB, E 面副瓣电平为 -23.6dB。

将所设计的天线加工成实物,在微波暗室中利用专业测试系统进行测试,测试方向图如图 8 所示。

由实测结果可以看出,在中心频率时,阵列天线的主瓣增益为 27.2,方位副瓣为 -27.7dB,俯仰副瓣为 -20.8dB,这与仿真结果高度吻合,说明本文所讨论的设计方法是切实可行的。

参考文献:

- [1] Jon J Gulick and Robert S, Elliott. The design of linear and planar arrays of waveguide-fed longitudinal slots [J]. Electromagnetics, 1990, (10): 327-347.
- [2] 金林, 何国瑜. 平板裂缝天线阻抗匹配设计的研究 [J]. 微波学报, 2000, (4): 373-377.
- [3] 盛月, 高文军, 雷宏, 等. 波导缝隙阵列天线设计 [J]. 电子与信息学报, 2005, (8): 1342-1344.
- [4] 施锦文, 丁小磊, 万国宾. 矩形波导宽边纵向裂缝的分析 [J]. 遥测遥控, 2006, (6): 16-20.
- [5] 齐美清, 汪伟, 金谋平. 基于 HFSS 的波导裂缝有源导纳的计算方法 [J]. 雷达科学与技术, 2006, (2): 121-124.
- [6] 金剑, 万笑梅, 汪伟, 等. 波导平板裂缝天线阵的设计 [J]. 雷达科学与技术, 2007, (3): 232-235.

[责任编辑: 刘 骋]

Extracting Research of Resonance Admittance of Rectangular Waveguide with Broadside Longitudinal Slot Based on HFSS Software

HE Yi-kui

(College of Electronic Engineering, Sichuan Aerospace Polytechnic, Chengdu, 610100, China)

Abstract: This article analyzes the relations between resonance admittance and wave-guide scattering parameter of rectangular wave-guide with broadside longitudinal slot, and explores the stimulative extraction of resonance admittance curve, using which to design slotted antenna.

Key words: Slotted antenna; resonance admittance; scattering parameter