

文章编号:1671-0576(2011)01-0032-04

基于T型结馈电的单层波导缝隙阵天线设计

杨丽娜， 粮华清

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 单层波导缝隙阵天线与多层波导缝隙阵天线相比, 具有结构简单, 纵向尺寸更小, 加工成本低等特点。文章采用天线阵列综合及 Elliott 设计方程完成了单层波导缝隙阵的阵面设计, 分析了 T 型结结构及其场分布, 并由 T 型结形成单层波导缝隙阵天线的馈电网络, 实现了任意功率分配; 将天线整体在 Ansoft HFSS 中建模仿真, 验证了该设计方法的正确性。仿真计算结果表明: T 型结可实现相位反相功率任意分配馈电, 可以作为单层波导缝隙阵天线的功分单元。

关键词: 单层波导; 缝隙阵天线; 馈电网络; 仿真; 优化

中图分类号: TN82

文献标识码:A

Design of a Single-layered Slotted Waveguide Array Fed by T-junction

YANG Li-na, LANG Hua-qing

(China Airborne Missile Academy, Luoyang Henan 471009, China)

Abstract: Compared with multi-layer slotted waveguide array, single-layered slotted waveguide array has simpler configuration, smaller longitudinal dimension and lower artificial cost. In this paper, array aperture of single-layered slotted waveguide array antenna are designed by using array synthesis and Elliott design equations. The configuration and field distribution of T-junction are analyzed. Feed network formed by T-junction can distribute the input power in arbitrary ratios to the radiating branches of single-layered slotted waveguide array. The whole antenna is simulated with Ansoft HFSS and the design approach is validated right. Simulated results show that T-junction can distribute the input power in alternating phase and in arbitrary ratios to the radiating branches. T-junction feed network can be power dividers for the single-layered slotted waveguide array.

Key words: single-layered waveguide; slotted array; feed network; simulation; optimization

收稿日期:2010-11-02

作者简介:杨丽娜(1981—),女,硕士,工程师;粮华清(1977—),男,硕士,高级工程师,主要从事单脉冲雷达天线技术的研究。

0 引言

波导缝隙阵天线以其体积小、重量轻、口径效率高、口径幅度控制灵活,易于实现低副瓣的优点,被广泛应用于雷达和通讯领域。常用的宽边开缝的波导缝隙阵天线一般采用多层结构,由3~4层波导叠加,辐射阵面与馈电网络集成在一起,通常采用焊接等手段连接在一起形成多层结构。多层的波导缝隙谐振阵列天线结构,如图1所示。这种类型的天线结构复杂,对加工和焊接的要求高,大大增加了天线的制造成本。

文献[1]提出一种单层波导缝隙阵天线的设计,其辐射阵面与馈电网络结构位于同一层,形成单层结构,采用T型结和Π型结馈电只实现了等功率馈电,而实现任意功率馈电的H-T功分网络结构体积较大,占用空间。本文中单层波导缝隙阵天线采用T型结馈电,通过仿真优化设计参数,实现了任意功率馈电。此天线具有结构简单、纵向尺寸只有一层波导的厚度、制造成本更低,更易于加工。

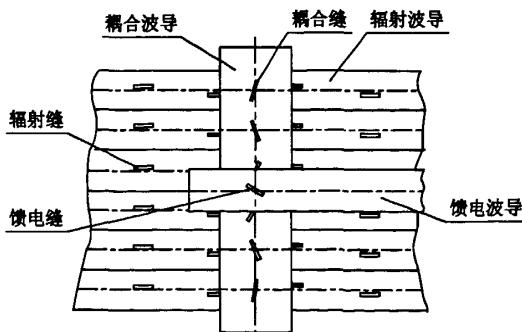


图1 多层波导缝隙天线结构示意图

1 单层波导缝隙阵天线的阵面设计

设计实例:一个8行×8列的单层波导缝隙阵天线,副瓣电平低于-25 dB。采用天线阵列综合方法,可得到满足要求的口面分布,两个主平面方向图分别如图2和图3所示。根据此口面分布就可以求解单层波导缝隙阵天线阵面缝隙参数。

从Bathe和Stevenson提出缝隙辐射问题开始^[2,3],经过四十多年的研究,从Stevenson的缝

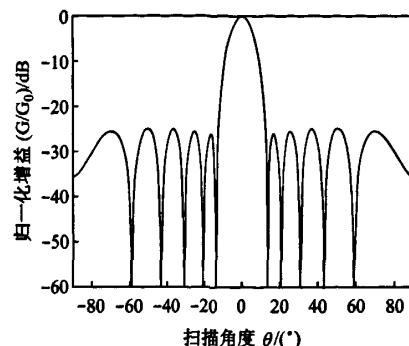


图2 8×8的矩形阵列天线的E面方向图

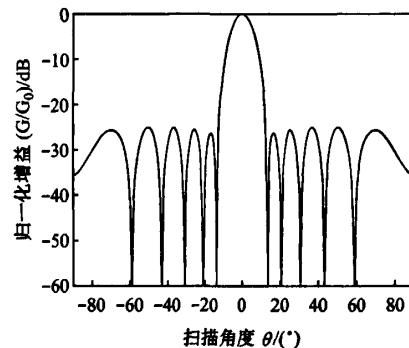


图3 8×8的矩形阵列天线的H面方向图

隙阻抗理论和A.A.Oliver的变分法^[4],到R.W.Lyon和A.J.Sangstor提出的Galerkin法^[5],历经准静态法、散射法、变分法和矩量法的缝隙分析理论已基本趋于完善。目前,波导缝隙阵天线设计广泛采用Elliott提出的有源导纳设计方法^[6],由数值方法分析计算,设计中考虑缝隙间的互耦。Elliott依据缝隙的缝电压、孤立缝隙的电参数和缝隙间的互耦值导出了两个设计公式,为了满足匹配要求,加入了关于匹配条件的第三个设计公式。三个设计公式如式(1)~(3)所示,公式中符号的具体含义见参考文献[6]。

$$Y_{mn}^a = \frac{f_{mn} V_{mn}^a V_a Y_{pq}^a}{f_{pq} V_{pq}^a V_n} \quad (1)$$

$$\frac{Y_{mn}^a}{G_0} = \frac{2f_{mn}^2}{\frac{2f_{mn}^2}{G_0} + MC_{mn}} \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^N \frac{Y_{mn}^a}{G_0} = Y_{in,a} \quad (3)$$

本文以上述阵面分布为基础,按Elliott提出的三个设计方程进行编程计算,完成了整个阵面

的辐射缝参数计算。

2 单层波导缝隙阵天线的馈电网络设计

单层波导缝隙阵天线的设计,关键要求解决馈电网络与辐射阵面同层集成的结构问题。可用功分单元形式有II型结、T型结以及简单的H-T功分器^[7]。H-T功分网络可实现任意相位的馈电,但是其体积较大,如图4所示。

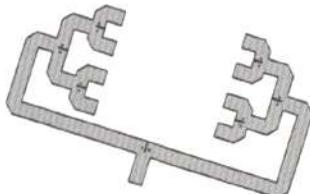


图4 8×8天线的H-T功分网络馈电波导

本文采用T型结馈电网络实现了任意功率分配,此馈电网络体积小,加工简单。T型结馈电波导结构如图5所示,场分布如图6所示。由场分布可见,此结构可实现对辐射波导端馈,相位反相。

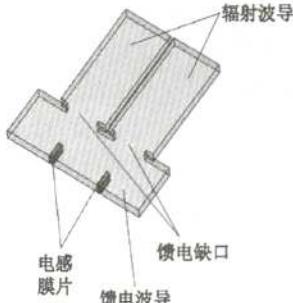


图5 T型结馈电波导结构

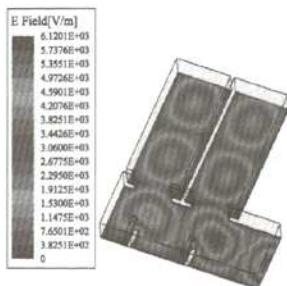


图6 T型结馈电波导结构场分布

在第2部分求解缝隙参数的过程中,采用上

下对称分布,因此得到四个不同的功率分配值。由图6可见,可通过调整馈电缺口尺寸大小来控制T型结的馈电功率大小,但在调整馈电缺口的过程中,不可避免会引起驻波的变化,为了改善馈电端口驻波,T型结可加载阶梯式电感膜片和销钉,如图7所示。

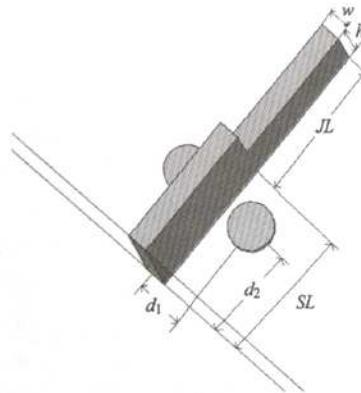


图7 阶梯式电感膜片与销钉

将T型结馈电网络在Ansoft HFSS中建模仿真,模型如图8所示。



图8 8×8天线的T型结馈电网络

调整阶梯式电感膜片与销钉的结构尺寸,优化其驻波大小,实现匹配,调整馈电缺口控制馈电功率向目标功率逼近。最终得到此T型结馈电波导的设计参数:

- a) 电感膜片长度 $SL=3$ mm;
- b) 电感膜片厚度 $w=0.48$ mm;
- c) 阶梯长度 $JL=3$ mm;
- d) 高度 $h=2.2$ mm;
- e) 销钉半径 $=0.5$ mm;
- f) 销钉高度 $=0.19$ mm;
- g) 销钉所处位置 $d_1=1.9$ mm, $d_2=1.06$

mm;

h) 两个销钉以膜片对称,波导的馈电缺口宽度分别为7.5 mm、9.3 mm、7.9 mm、10.5 mm。

仿真出的驻波系数如图9所示,实际馈电的功率与目标功率如表1所示。

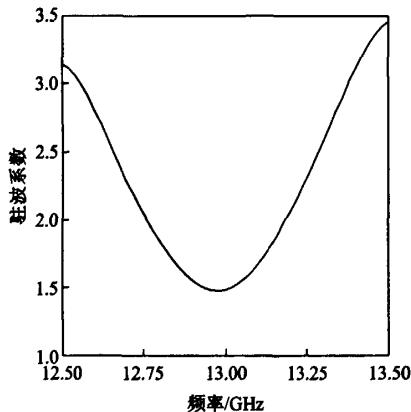


图9 8×8天线的T型结馈电网络驻波系数

表1 8×8天线的H-T功分网络馈电功率

馈电缺口尺寸(mm)	7.5	9.3	7.9	10.5
目标功率(W)	0.0473	0.0679	0.1422	0.2477
实际功率(W)	0.0477	0.0639	0.1416	0.2319

由仿真结果可以看出:调整阶梯式电感膜片和销钉的结构尺寸可优化功分馈电网络的驻波特性,调整馈电缺口尺寸大小可实现不等功率分配。馈电功率幅度与馈电缺口尺寸大小成正比,实际设计中应考虑到多个馈电结构之间的耦合和反射影响,对馈电缺口大小进行优化与修正。

3 天线整体仿真

此波导缝隙阵天线为T型结馈电,由于T型结馈电相位相反,因此辐射缝排列时,相邻两根辐射波导在其横向所对应的辐射缝偏离中心线的方向相反,以保证辐射缝上的相位同相。将前两部分求解的缝隙参数和仿真得到的T型结馈电网络结合,形成波导缝隙阵天线。将此天线整体在Ansoft HFSS中建模仿真,仿真模型和仿真出的方向图分别如图10和图11所示。

由图11可以看出,本文设计的波导缝隙阵天

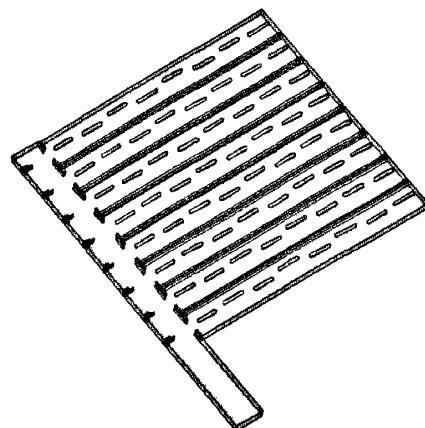


图10 T型结馈电的天线仿真模型

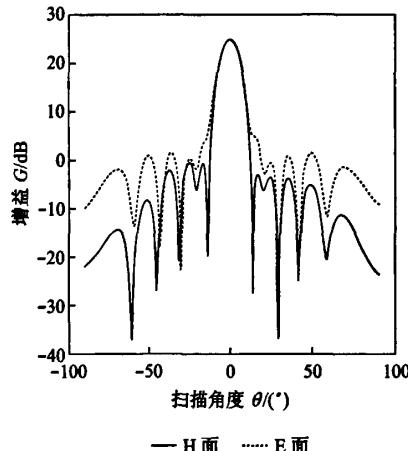


图11 T型结馈电的天线仿真方向图

线实现了任意功率分配,仿真得到的H面方向图与理论方向图副瓣水平基本一致,E面方向图除第一副瓣略有抬高,其他均可满足要求。E面方向图第一副瓣抬高的原因主要是功率分配的精确度及驻波优化仍需要进一步提高。

4 结论

本文对基于T型结馈电的单层波导缝隙阵天线进行了设计和仿真,此T型结馈电网络实现了任意功率分配。采用该结构的波导缝隙阵天线与H-T功分网络馈电的单层波导缝隙阵天线相比,具有结构简单、体积小、易于加工等优点,天线的整体模型仿真结果验证了此种波导缝隙阵天线

(下转第49页)

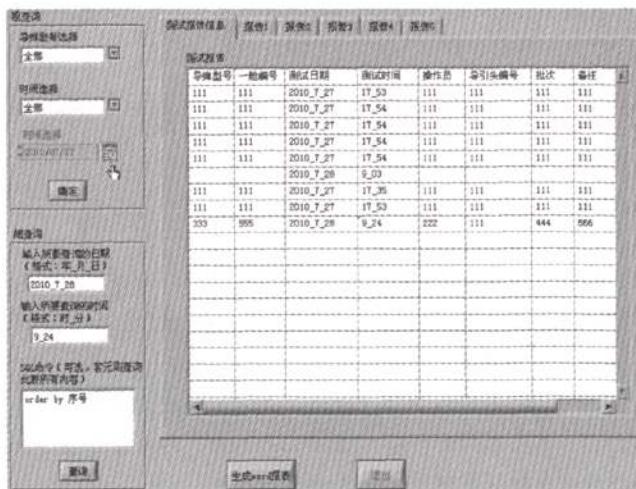


图5 数据库查询 VI

随着测试系统信息化的不断深入,数据库的应用也会越来越广泛,其在数据管理方面的优势将越来越明显,构建基于数据库管理的虚拟仪器系统成为现代测试系统的发展趋势。

参考文献

- [1] 李智,陈清阳,等. MySQL 网络数据库技术精粹

(上接第 35 页)

设计方法的正确性和结构的可行性,为小型化、任意功率馈电的单层波导缝隙阵天线设计提供了一种新思路。

参考文献

- [1] 杨丽娜,黎华清. 单层波导缝隙阵天线的设计与仿真[J]. 火控雷达技术, 2010, 39(2):82-88.
- [2] H. A. Bethe. Theory of Diffraction by Small Holes [J]. J. Physical Review, 1944, 66:163-182.
- [3] A. F. Stevenson. Theory of Slot in Rectangular Waveguide[J]. J. Appl. Phys, 1948, 19(1):24-38.
- [4] A. A. Oline. The Impedance Properties of Narrow Radiating Slots in Broad Face of Rectangular

[M]. 北京:机械工业出版社,2001.

- [2] 赵桂明,赵质良. 在 LabVIEW 中灵活访问数据库[J]. 电子测试, 2008,(9):4952.
- [3] 吉顺祥,刘旺锁,等. 基于 LabVIEW 的数据库访问技术[J]. 2007, 36(3):125-128.
- [4] 何明,何茜颖,等. Oracle 快速 Web 应用开发[M]. 北京:清华大学出版社,2010.

Waveguide[J]. IEEE Trans. AP, 1957, 5(1): 24-38.

- [5] R. W. Lyon, A. J. Sangster. Efficient Moment Method Analysis of Radiation Slots in a Thickwalled Rectangular Waveguide[J]. IEEE Proc. H, 1981, 128(4):197-205.
- [6] R. S. Elliott. An Improved Design Procedure for Small Arrays of Slots[J]. IEEE Trans. AP, 1983, 31(1): 48-53.
- [7] Makoto Ando, Jiro Hirokawa. Single-Layer Slotted Waveguide Arrays for DBS Reception and Higher Frequency Applications [J]. Electromagnetics, 1997:23-27.

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>