

基于 HFSS 的 4×24 微带阵列天线的研究与设计

惠鹏飞, 夏颖, 周喜权, 陶佰睿, 苗凤娟

(齐齐哈尔大学 通信与电子工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要: 微带阵列天线的馈电方式有微带线馈电和同轴馈电两种方式, 本文利用 HFSS 软件对微带阵列天线进行了研究, 分析了两种馈电方式的传输损耗及其对天线方向图的影响, 利用模块化的设计方法实现了一种基于同轴线馈电结构的多元矩形微带阵列天线。在 HFSS 仿真设计环境里对天线进行了物理建模, 该微带阵列天线的方向图特性良好, 工程上实现比较方便。

关键词: 微带阵列天线; 模块化设计; HFSS 仿真; 物理建模; 方向图

中图分类号: TN820.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-984X(2010)05-0009-04

随着无线电技术的发展, 微带天线在许多领域得到了越来越广泛的应用, 主要应用场合包括: 卫星通信、多普勒雷达及其它制式雷达、导弹遥测系统、复杂天线中的馈电单元等^[1]。微带天线通常采用天线阵列的形式, 由馈电网络控制对天线子阵的激励幅度和相位, 以获得高增益、强方向性等特点。

微带阵列天线的馈电方式主要有微带线馈电和同轴线馈电方式两种。利用微带线馈电时, 馈线与微带贴片是共面的, 因此可以方便地光刻, 但缺点是损耗较大, 在高效率的天馈系统里的应用受到较大限制^[2]。本文首先对微带馈电网络产生的损耗进行了详细分析, 利用 HFSS 软件设计了 2×4 结构的微带子阵, 采用同轴馈电的方式, 利用模块化设计方法和方向图叠加原理最终实现了 4×24 矩形微带阵列天线, 仿真设计结果表明, 该大型矩形微带阵列天线的各项指标参数良好, 设计思想得到了很好的验证。

1 微带阵列及馈电网络损耗分析

1.1 微带阵列理论

微带天线单元的增益较小, 一般单个贴片单元的辐射增益只有 $6 \sim 8$ dB, 为了实现远距离传输和获得更大的增益, 尤其是对天线的方向性要求比较苛刻的场合, 常采用由微带辐射单元组成的微带阵列天线, 如果对增益要求较高, 可采用大型微带阵列天线结构^[3]。

首先分析平面微带阵列天线的激励电流与电场分布情况, 无论是线天线还是面天线, 其辐射源都是高频电流源, 天线系统将高频电流源的能量转换成电磁波的形式发射出去, 讨论电流源的辐射场是分析天线的基础。假设由若干相同的微带天线元组成的平面阵结构, 建立三维坐标系分析阵列天线的场量分布情况。以阵列的中心为坐标原点, 天线在 x 轴方向和 y 轴方向的单元编号分别用 m 和 n 表示。以原点天线单元为相位参考点, 为了简化分析, 假设阵列中各单元间互耦影响可以忽略不计, 各单元激励电流为

$I_{mn} e^{-j(mv_x + nv_y)}$, 天线阵在远区的辐射总场 $E(\theta, \varphi)$ 为

$$E(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) \cdot S(\theta, \varphi)$$

式中, $f(\theta, \varphi)$ 为阵元的方向性函数, $S(\theta, \varphi)$ 为平面阵的阵方向性函数。平面阵因子是两个线阵因子的乘积, 可以利用线阵方向性分析的结论来分析平面阵列的方向性。

1.2 馈电网络及损耗分析

天线只有承载高频电流才能有电磁波辐射, 馈线指将高频交流电能从电路的某一段传送到另一段所用的设备, 对天线的馈电包括对单元天线的馈电和阵列天线的馈电两种形式。当利用传输线对阵列结构进行

收稿日期: 2010-06-06

基金项目: 齐齐哈尔市科技局工业攻关项目 (GYGG-09011-2)

作者简介: 惠鹏飞 (1980-), 男, 辽宁凌源人, 讲师, 硕士, 主要从事雷达极化信息处理的研究, weibo505@yahoo.cn。

激励时，可以采用微带线馈电和同轴线馈电两种方案。

当采用微带线对阵列天线进行馈电时，微带线和金属辐射贴片在同一平面内，在工程加工时带来许多方便，制作简单且成本低廉。但微带馈线本身会产生辐射损耗，这种附加的损耗会对天线方向性参数产生不利影响，天线增益也会随之降低。因此，通常要求微带线的线宽 w 尽可能的窄，即 $w \ll \lambda$ ， λ 是电磁波的工作波长。除此之外，天线的特性阻抗 Z_0 要高或者介质基片的厚度 h 要小，介电常数 ϵ_r 要尽可能的大。恰当选择馈电点的位置可以实现天线的输入阻抗和馈线特性阻抗的匹配，如果将馈电点的位置沿着矩形贴片的两条边移动时，阵列天线的谐振电阻会发生变化^[4]。

对于同轴馈电方式，馈源的模型可以表示为 z 向电流圆柱和接地板上同轴开口处的小磁流环，如果进行简化处理，可以忽略磁流环的作用，并且可以利用中心位于圆柱中心轴的电流片等效电流柱。如果设计精度要求高，可以把接地板上的同轴开口作为 TEM 波的激励源，而把圆柱探针的效应作为边界条件处理。同轴馈电方式具有很多优势，首先，馈电点的位置可以在贴片内的任何位置进行选取，便于实现匹配。其次，接地板和同轴电缆下方，可以有效地避免电缆对天线辐射的影响。

2 阵列天线的结构分析与设计

2.1 设计指标及结构分析

天线阵设计指标如下：天线结构为 4×24 ，C 波段，工作频带 $f_0 \pm 30$ MHz，垂直线极化，H 面 3 dB 宽度 $\geq 3^\circ$ ，E 面 3 dB 宽度 $\geq 20^\circ$ ，水平面副瓣电平 ≤ -20 dB，垂直面副瓣电平 ≤ -15 dB，天线增益 $G \geq 26$ dB。

根据上述设计指标，结合天线工程领域的设计计算公式，我们可以采用模块化的设计方法实现 4×24 结构的大型微带阵列天线。如果采用并联馈电形式的微带阵列天线，则由 12 个 2×4 结构的小型微带天线子阵可以组成 4×24 结构的大型微带阵列。在水平方向上可以安排 6 个微带子阵，在垂直方向上可以安排 2 个微带子阵，则馈电网络采用 2×6 的同轴馈电结构，馈电网络的结构分布如图 1 所示。

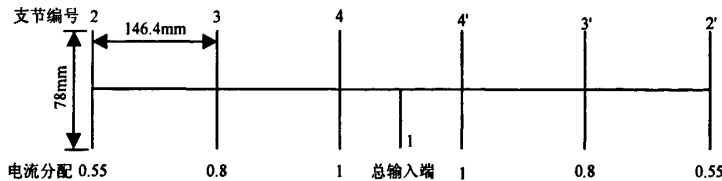


图 1 RCL 馈电网络系统框图

2.2 2×4 微带子阵天线的设计

在设计微带阵列天线时，首先应该决定天线单元的结构形式，采用贴片式微带天线单元。贴片式微带天线单元按照工作原理可以分为谐振式和行波式。谐振式（也称驻波式）贴片微带天线作为阵元具有诸多优势，单元本身具有一定的方向性，效率较高，一般在 90% 以上，半功率波束宽度大致在 $80^\circ \sim 100^\circ$ 之间。贴片单元的结构采用插槽结构实现，贴片的长度 L 、宽度 W 由阻抗匹配和单元天线的谐振频率 f_0 决定，谐振频率 f_0 和谐振阻抗的改变可以通过调节插入宽度 s 和插入深度 N 来实现。

对于 2×4 结构的串并馈驻波子阵天线，可以采用上下排列方式，贴片的开槽和子阵天线的结构分布如图 2 所示。各贴片单元尺寸相同，馈电点位置为贴片窄边的中心。为了将馈线拐角对单元的影响降到最低，可以采用调节 $L1$ 来实现。仿真二元子阵确定 dH 使两单元保持同相，调节 $w1$ 达到匹配。通过四元线阵的仿真调节 T 型分支的 $L2$ 、 $w2$ 使频率为 f_0 时反射最小，两个四元线阵之间按电流幅比为 0.7 : 1 进行加权段设计。下子阵与上子阵单元形式相同，但下子阵两个四元线阵之间对应的加权段按 1 : 0.7 设计，与上子阵的加权段构成镜像关系。

3 HFSS 仿真设计结果及分析

3.1 HFSS 仿真设计平台

HFSS 是 Ansoft 公司推出的三维电磁仿真软件，是世界上第一个商业化的三维结构电磁场仿真软件，业界公认的三维电磁场设计和分析的电子设计工业标准。HFSS 软件拥有强大的天线设计功能，它可以计算天线参量，如增益、方向性、远场方向图剖面、远场 3D 图和 3dB 带宽。绘制极化特性，包括球形场分量、圆极化场分量、Ludwig 第三定义场分量和轴比。

使用 HFSS 可以计算：（1）基本电磁场数值解和开边界问题，近远场辐射问题；（2）端口特征阻抗和传输常数；（3）S 参数和相应端口阻抗的归一化 S 参数；（4）结构的本征模或谐振解。而且，由 Ansoft HFSS 和 Ansoft Designer 构成的 Ansoft 高频解决方案，是目前唯一以物理原型为基础的高频设计解决方案，提供了从系统到电路直至部件级的快速而精确的设计手段，覆盖了高频设计的所有环节。

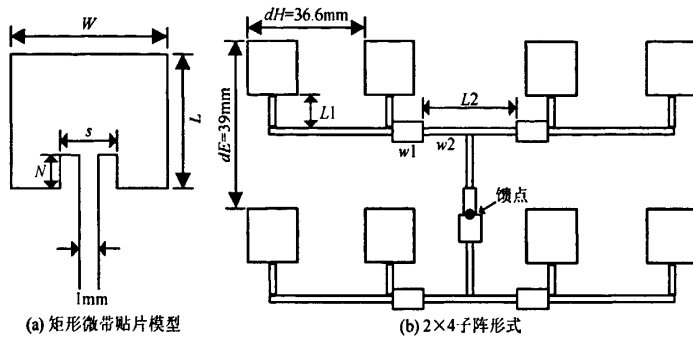


图 2 插槽型微带贴片与子阵天线结构图

3.2 阵列天线的整体仿真

利用 HFSS 进行微波无源器件及电路的设计大体经过物理建模、给模型参数赋予初值、运行仿真、参数调整优化等步骤。在进行计算机建模之前，需要经过详细的理论分析过程，利用微带天线工程设计的相关经验公式来确定相关尺寸数据，理论分析大体经历分析数据、全波仿真分析优化贴片尺寸、馈电网络设计等步骤。利用 HFSS 软件对由 RCL 馈电网络的 2 × 4 微带子阵进行了仿真，建立的三维物理模型如图 3 所示，通过数据后处理就可以得出全向电场方向图和全向增益方向图，分别如图 4 和图 5 所示。按照阵列天线方向图叠加原理和模块化的设计方法，可以得出 4 × 24 结构微带阵列天线的整体 E 面和 H 面方向图，如图 6 所示。

通过 2 × 4 微带子阵的全向电场方向图和全向增益方向图可知，天线最大估计电场强度为 5.5 V，天线最大估计增益为 4 dB。从微带阵列天线的整体 E 面和 H 面方向图来看，H 面副瓣为 -20.2 dB，3 dB 宽度为 3.7°；E 面副瓣为 -16.1 dB，3 dB 宽度为 20.7°，满足工程上的设计要求。

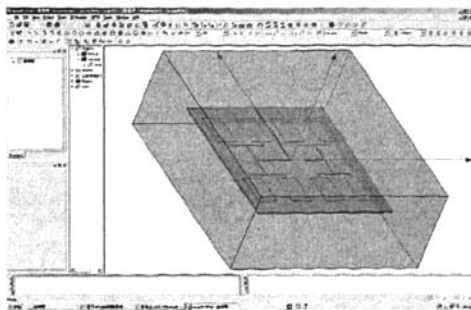


图 3 2 × 4 微带子阵物理模型

r(Total[V])	
5	5.577e+000
4	5.1537e+000
3	4.8882e+000
2	4.6666e+000
1	4.4889e+000
0	4.3556e+000
-1	4.2667e+000
-2	4.2111e+000
-3	4.1889e+000
-4	4.1977e+000
-5	4.2333e+000
-6	4.2978e+000
-7	4.3889e+000
-8	4.5111e+000
-9	4.6667e+000
-10	4.8556e+000
-11	5.0778e+000
-12	5.3333e+000
-13	5.6222e+000
-14	5.9444e+000
-15	6.3111e+000
-16	6.7222e+000
-17	7.1778e+000
-18	7.6778e+000
-19	8.2222e+000
-20	8.8111e+000
-21	9.4444e+000
-22	1.0111e+001
-23	1.0822e+001
-24	1.1578e+001
-25	1.2378e+001
-26	1.3222e+001
-27	1.4111e+001
-28	1.5022e+001
-29	1.5978e+001
-30	1.6978e+001
-31	1.8022e+001
-32	1.9111e+001
-33	2.0222e+001
-34	2.1378e+001
-35	2.2578e+001
-36	2.3822e+001
-37	2.5111e+001
-38	2.6444e+001
-39	2.7822e+001
-40	2.9256e+001
-41	3.0744e+001
-42	3.2278e+001
-43	3.3856e+001
-44	3.5478e+001
-45	3.7144e+001
-46	3.8856e+001
-47	4.0611e+001
-48	4.2411e+001
-49	4.4256e+001
-50	4.6144e+001
-51	4.8078e+001
-52	5.0056e+001
-53	5.2078e+001
-54	5.4144e+001
-55	5.6256e+001
-56	5.8411e+001
-57	6.0611e+001
-58	6.2856e+001
-59	6.5144e+001
-60	6.7478e+001
-61	6.9856e+001
-62	7.2278e+001
-63	7.4744e+001
-64	7.7256e+001
-65	7.9811e+001
-66	8.2411e+001
-67	8.5056e+001
-68	8.7744e+001
-69	9.0478e+001
-70	9.3256e+001
-71	9.6078e+001
-72	9.8944e+001
-73	1.0186e+002
-74	1.0483e+002
-75	1.0786e+002
-76	1.1094e+002
-77	1.1408e+002
-78	1.1728e+002
-79	1.2054e+002
-80	1.2386e+002
-81	1.2724e+002
-82	1.3068e+002
-83	1.3418e+002
-84	1.3774e+002
-85	1.4136e+002
-86	1.4504e+002
-87	1.4878e+002
-88	1.5258e+002
-89	1.5644e+002
-90	1.6036e+002
-91	1.6434e+002
-92	1.6838e+002
-93	1.7248e+002
-94	1.7664e+002
-95	1.8086e+002
-96	1.8514e+002
-97	1.8948e+002
-98	1.9388e+002
-99	1.9834e+002
-100	2.0286e+002

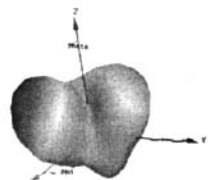


图 4 天线全向电场方向图

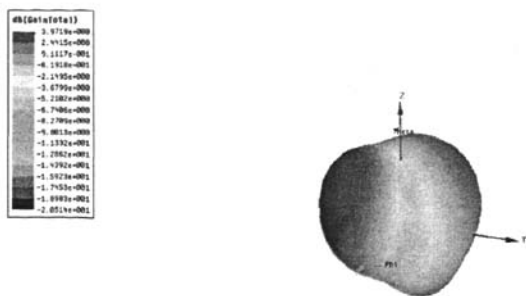


图5 天线全向增益方向图

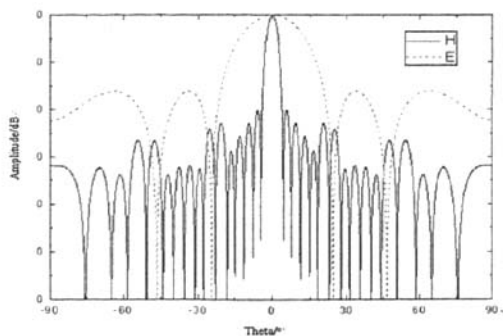


图6 整体结构E面和H面方向图

4 结束语

本文利用电磁场EDA设计软件HFSS对微带阵列天线进行了研究和设计,分析了微带线馈电方式和同轴线馈电方式馈线传输损耗及其对天线方向图的影响,设计了一种基于同轴线馈电结构的多元矩形微带阵列天线。首先在HFSS程序设计环境里构建了 2×4 微带天线子阵的物理模型,得出了全向增益方向图等特性曲线。利用模块化的设计思想和方向图叠加原理构建了 4×24 结构的大型微带阵列天线,仿真结果表明,该阵列天线的各项参数指标满足工程设计要求,设计思想得到了很好的验证。

参考文献

- [1] 宋小弟,冯恩信,傅君眉.一种新型小型圆极化GPS微带天线的设计与实现[J],西安电子科技大学学报:自然科学版,2009,36(6):1108-1112.
- [2] 梁仙灵,钟顺时,汪伟.高隔离度双极化微带天线直线阵的设计[J].电子学报,2005,33(3):553-555.
- [3] 王亚洲,苏东林,肖永轩,等.宽频带正方形微带贴片天线的设计[J].微波学报,2006,22(1):29-31.
- [4] 宋顺澜,郑会利.一种新型的全向宽频带微带阵列天线[J].空间电子技术,2007,1(4):60-66.

The research and design of 4×24 microstrip array antenna by HFSS

HUI Peng-fei, XIA Ying, ZHOU Xi-quan, TAO Bai-rui, MIAO Feng-juan

(School of Communication and Electronic Engineering, Qiqihar University, Heilongjiang Qiqihar 161006, China)

Abstract: Microstrip array antenna fed by a microstrip feed line and coaxial feed in two ways, this paper HFSS software array antenna has been studied, analyzed the way two fed the antenna transmission loss and pattern of using the modular design method to achieve a coaxial feed structure based on multi-rectangular microstrip antenna array. In the HFSS simulation design environment, the physical modeling of the antenna, the microstrip array antenna pattern characteristics of good works to achieve more convenient.

Key words: microstrip antenna array; modular design; HFSS simulation; physical modeling; pattern

HFSS 视频培训课程推荐

HFSS 软件是当前最流行的微波无源器件和天线设计软件，易迪拓培训(www.edatop.com)是国内最专业的微波、射频和天线设计培训机构。

为帮助工程师能够更好、更快地学习掌握 HFSS 的设计应用，易迪拓培训特邀李明洋老师主讲了多套 HFSS 视频培训课程。李明洋老师具有丰富的工程设计经验，曾编著出版了《HFSS 电磁仿真设计应用详解》、《HFSS 天线设计》等多本 HFSS 专业图书。视频课程，专家讲解，直观易学，是您学习 HFSS 的最佳选择。



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

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，可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>



更多 HFSS 视频培训课程:

● 两周学会 HFSS —— 中文视频培训课程

课程从零讲起，通过两周的课程学习，可以帮助您快速入门、自学掌握 HFSS，是 HFSS 初学者的最好课程，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/1.html>

● HFSS 微波器件仿真设计实例 —— 中文视频教程

HFSS 进阶培训课程，通过十个 HFSS 仿真设计实例，带您更深入学习 HFSS 的实际应用，掌握 HFSS 高级设置和应用技巧，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/3.html>

● HFSS 天线设计入门 —— 中文视频教程

HFSS 是天线设计的王者，该教程全面解析了天线的基础知识、HFSS 天线设计流程和详细操作设置，让 HFSS 天线设计不再难，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/4.html>

● 更多 HFSS 培训课程，敬请浏览: <http://www.edatop.com/peixun/hfss>

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相关培训课程和 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讲授,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>