

共面馈电凹口矩形贴片天线间的互耦

Mutual coupling in the notched rectangular patch antennas array fed by coplanar microstrip line

(1.中国科学院电子学研究所高功率微波与电磁辐射重点实验室;2.中科院研究生院) 柴雯雯^{1,2} 张晓娟¹

CHAI Wen-wen ZHANG Xiao-juan

摘要:本文分析了共面馈电的凹口矩形微带贴片天线间的互耦模型,具体研究了天线介质包括厚度以及介电常数、不同阵元间距、不同的阵元放置方式、不同谐振长度的天线组合对于互耦的影响,确定了减小阵元间互耦的方法。互耦研究有利于大的阵面设计,并可以应用到空间多样性、极化多样性以及方向图多样性的天线阵设计中。

关键词:互耦;天线阵;共面馈电;凹口矩形贴片

Abstract: In this paper, the models of mutual coupling in the notched rectangular patch antenna array are analyzed. The effects on the mutual coupling in antenna array, including the dielectric, the distance between antenna elements, the orientation and resonant lengths of antenna elements, are respectively studied. The methods to reduce the mutual coupling are determined. The experimental results can help to design the large antenna array and also can be applied to the diversity antenna systems.

Key words: mutual coupling; antenna array; coplanar feeding; notched rectangular patch

1 引言

在现代移动通信领域中,随着通信业的发展,移动体上装载的通信设备越来越多。因此,减小通信设备所占空间、提高通信设备的性能便成为人们所追求的目标。微带天线在移动通信领域具有很好的应用前景,具有成本低、姿态矮、重量轻、便于安装等优点。在实际应用中,往往要求天线具有高增益、方向性强及定向辐射等特点,单个微带天线辐射元的增益及方向性均很难达到要求,而天线阵则可获得上述特性。对于具有大量天线元的天线阵,阵列面积的限制可能会导致阵元间的互耦。这种耦合会使得副瓣变坏,主波束倾斜,零点转移以及栅瓣出现;移动通信中经常使用的多样性天线则要求更小的阵元间距,互耦的存在会减小增益,同时使得多样性天线平均接收能量下降。因此,预测阵元间的互耦并采用有效的方法抑制互耦是非常必要的。

本文给出了共面馈电的凹口方形贴片天线的互耦研究。在中心频率为 10GHz,频带 8~12GHz 的范围内研究了天线介质包括厚度以及介电常数、不同阵元间距、不同的阵元放置方式、不同谐振长度的天线组合对于互耦的影响。该研究的目的是在阵元间距一定的情况下实现天线阵元间互耦的最小化。下面按以下几部分进行说明:首先分析了天线阵中的 3 种互耦模型;其次,利用 Ansoft HFSS 仿真软件研究了不同条件下天线元间的互耦情况,并实际制作出了多元阵来验证仿真结果的正确性;最后说明了不同谐振长度天线间的互耦情况。

2 互耦模型

天线元按放置方式的不同,可以分为三种互耦模型:E 面耦合、H 面耦合,以及 O 面耦合,图 1 所示。其中 E 面和 H 面互耦是较常见的,而 O 面耦合,顾名思义指的是正交面耦合,它是在两相邻天线元的辐射场正交的情况下产生的一种耦合形式,常被

柴雯雯: 硕士

基金项目:国家自然科学基金(60371003)

用到多样性天线系统的设计中。

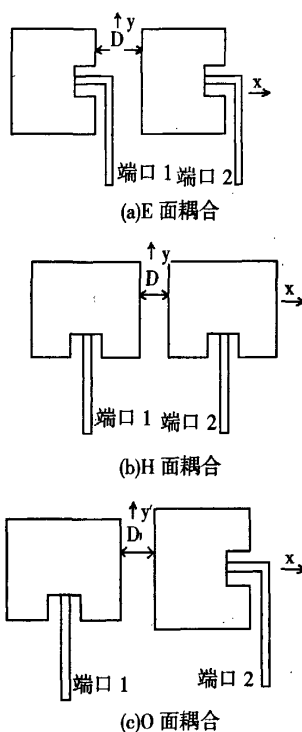


图 1 互耦模型

3 天线阵元间的互耦研究

Ansoft HFSS 是一种基于 FEM 的全波 3D 电磁场仿真软件,其拥有强大的天线设计功能,可以精确的计算各种天线参量包括带宽、增益、方向图等,且计算精度已经得到广大中国工程师的认可。这部分首先分析单个天线元的设计,然后利用 HFSS 研究

该天线元间的互耦情况。

3.1 阵元的设计

我们利用微带线对单层介质的凹口贴片单元进行激励,如图1所示。为了获得好的回波损耗特性,对凹口的插入深度,凹口的开口宽度以及微带线的宽度都进行了优化。这种天线的优点是调节方便,且在贴片单元的馈电点处,通常有相当高的输入阻抗(达200~250 Ω),这样在设计复杂的馈电网络的时候,线宽可以有较大的选择范围,相应的阻抗范围为70~170 Ω 。这些结构特点可以使其非常方便的应用到大的阵面设计中,故本文选择该天线元作为研究对象。

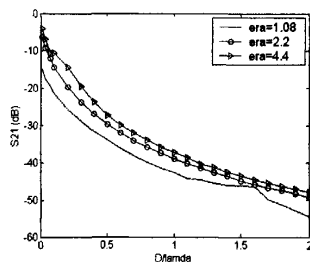
3.2 介电常数对于阵元间互耦的影响

当阵元间距很小时,互耦由近场特性引起,间距较大时表面波场成为引起互耦的主要因素。表面波是集中在微带线接地板表面附近的介质中,并沿地板表面传播的一种电磁波。表面波的模式由介质的厚度以及介电常数决定,本文所取的介质假定仅有低阶的 TM_0 模式的表面波传播。

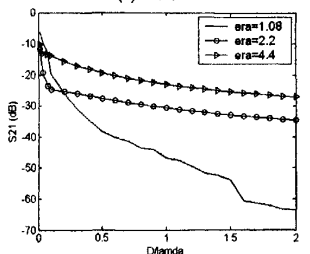
图2(a)为H面耦合随阵元间距的变化曲线。对于相同的阵元间距,介电常数越大,互耦越大,这是因为对于H面的耦合,表面波场主要是由天线电流的非零Y分量产生,介电常数越大该电流分量就越大,故表面波越强,这就造成了不同介质时的互耦差。

图2(b)为E面耦合随着阵元间距的变化曲线。当 $D/\lambda_0 > 0.2$ 时, $\epsilon_r=1.08$ 的阵元互耦最小,当 $D/\lambda_0 < 0.2$ 时,其互耦量增大,对应 $\epsilon_r=2.2$ 的互耦变小;当 D/λ_0 减小到0.07时, $\epsilon_r=1.08$ 的互耦量三者之中最大。E面耦合之所以会产生这种变化趋势是因为,阵元间距较小时,近场是产生互耦的主要因素,介电常数的增大会导致天线的等效谐振长度减小,故近场减弱,互耦降低;当阵元间距较大时,互耦主要是由表面波产生,故介电常数越大,互耦越大;且E面耦合时,表面波模 TM_0 的场强很大,这使得E面的互耦要比H面大。

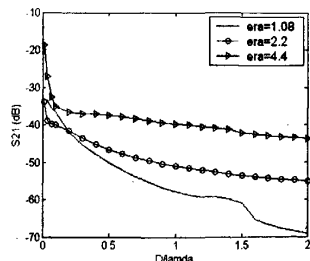
图2(c)为O面耦合随着阵元间距的变化曲线。与E面和H面耦合相比,在取相同的阵元间距时O面互耦减小了10~30dB。这是因为,对于O面的耦合,相邻天线元的辐射场以及表面波场都是近似正交的,故理论上阵元间耦合非常小。



(a)H面



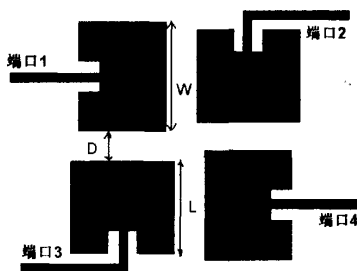
(b)E面



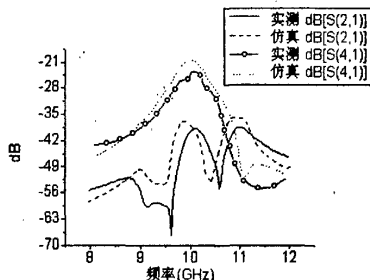
(c)O面

图2 介电常数取不同值时互耦随阵元间距的变化曲线

为了验证 HFSS 仿真结果的精确度以及上述结论的正确性,我们实际制作了一个2x2的凹口矩形贴片O面阵,如图3(a)所示,阵元的长 $W=0.33\lambda_0$, $L=0.32\lambda_0$,阵元间距 $D=0.11\lambda_0$ 。图3(b)为S参数随着频率的变化曲线,从图中可以看出,仿真与实测结果较接近,在整个频段内S14,S12分别小于-20dB,-35dB,这些互耦参数验证了O面耦合量最小的结论。



(a)阵面结构



(b)端口间的互耦

图3

3.3 介质厚度对于阵元间互耦的影响

本节分析了介电常数 $\epsilon_r=2.2$,介质厚度分别取0.8,2mm时,图1中的三种模型的互耦情况,所得的实验结果如下:当介质厚度固定时对于相同的阵元间距,E面互耦要大于H面,而O面互耦最小;阵元间距取任意值,介质厚度从0.8mm增加到2mm,E面和H面的互耦均会增加0.3~6dB,而O面互耦可增加6~18dB。

由以上研究我们可以得出结论:微带天线的介质包括厚度和介电常数,以及天线元不同的分布方式均是影响互耦的主要因素。当介质的厚度增加时,E面,H面,O面的互耦都有不同程度的增加。介质厚度一定,元间距取任意值时,阵元的H面互耦都会随着介电常数的增加而增加;对于E面互耦,在元间距较小时,互耦会随着介电常数的增大而减小,在元间距较大时,互耦会随着介电常数的增大而增大;对于O面互耦,在阵元间距取相同值时其互耦量比前两种减小了10~30dB,实际设计出了一个四

元 0 面阵,验证了此结论的正确性。

4 具有正交辐射场的天线元间的互耦

这部分将研究具有不同谐振长度的天线元间的互耦。对于图 1(b)中的天线,如果两个阵元分别选择合适的谐振长度则可以得到正交的空间辐射场,这样的组合在多样性天线中较常见。微带天线设计中,若谐振长度近似为 0.5 个波长,则辐射的主波束垂直于天线,我们称之为和波束天线;若近似为 1 个波长,则辐射有两个主波束,其零点垂直于天线,我们称之为差波束天线。

图 4(a)为不同谐振长度组合情况下 H 面的互耦随阵元间距的变化曲线。从图中我们可以看出:在天线对中,若天线元谐振长度相同,则互耦情况近似;若天线对是由不同谐振长度的天线元组成,互耦会极大地减小,这是因为两天线元的辐射场是近似正交的。

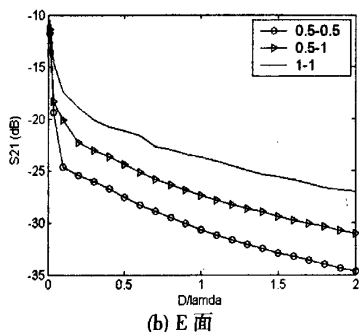
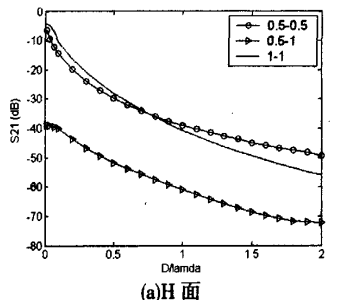


图 4 不同谐振长度组合情况下互耦随阵元间距的变化曲线

图 4(b)为不同谐振长度组合情况下 E 面的互耦随着阵元间距的变化曲线。这种耦合主要来自于表面波场,因此三种情况具有相似的变化趋势,在相同的阵元间距时,互耦量最大的是谐振长度均为 1 个波长的组合,最小的则是均为 0.5 个波长的组合。

5 结论

本文对于共面馈电的凹口矩形微带天线间的互耦进行了研究,得到了在天线介质、阵元间距、阵元放置方式、谐振长度组合不同的情况下阵元间的互耦规律。厚度小,介电常数低的介质的使用有利于减小阵元间的互耦,应用正交极化的方式组合天线元可以更大的减小耦合,从而实现更小的阵元间距;实际设计了一个四元天线阵,阵元间距为 $0.11\lambda_0$,各个端口的互耦均小于 -20dB 。阵元间的互耦研究有利于大的阵面设计,并可以应用到各种多样性天线中。

创新观点: 本文对于共面馈电的凹口矩形微带天线间的互耦进行了研究,得到了在天线介质、阵元间距、阵元放置方式、谐振长度组合不同的情况下阵元间的互耦规律,确定了减小阵元间互耦的方法。互耦研究有利于大的阵面设计,并可以应用到空

间多样性、极化多样性以及方向图多样性的天线阵设计中。

参考文献

- [1]张钧.微带天线理论与工程.北京:国防工业出版社,1988.
- [2]陈默等.螺旋天线的计算机仿真设计[J].微计算机信息,2006,2, 1:255-256.
- [3] Haupt R L. Thinned arrays using genetic algorithms. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1999, 42(7): 993-999.
- [4]Ramirez R. A mutual coupling study of linear polarized microstrip antennas for use in blast wireless communications architecture. IEEE AP-S Int. Symp., 2000, 2: 490-493.
- [5]Ramirez R R. A mutual coupling study of circular polarized microstrip antennas with applications to diversity combining mobile communications. IEEE AP-S Int. Symp., 2001, 2: 490-493.
- [6]Taga T. Characteristics of space-diversity branch using parallel dipole antennas in mobile radio communications. Elect. Commun., 1993, 76(9): 55-65.
- [7]Vaughan R G. Antenna diversity in mobile communications. IEEE Trans.Veh.Technol., 1987, 36(4): 149-172.

作者简介:柴雯雯:女,1983年生,籍贯山东,硕士生,主要研究方向天线以及天线馈线的设计;张晓娟:女,1964年生,籍贯山西,副研究员,主要研究方向是微波遥感,天线,计算电磁学,电磁散射。

Biography:Chai Wen-wen: Female, Born in 1983 in Shandong Province, Master, Concentrate on the study of antenna and antenna feeding;

(100080 北京 中国科学院电子学研究所高功率微波与电磁辐射重点实验室)柴雯雯 张晓娟

(100039 北京 中科院研究生院)柴雯雯

通讯地址:(100080 中国科学院电子学研究所十室) 柴雯雯

(收稿日期:2008.4.20)(修稿日期:2008.6.05)

(上接第 140 页)

参考文献:

- [1]李志伟.基于 GSM 的车辆报警与控制系统的的设计[J].微计算机信息, 2007,4,1:61-63.
- [2]王盟,燕爱华.基于嵌入式系统的 GPS 通讯端机的设计研究[J].通信与信息技术,2006 年第 3 期.
- [3]黄青萍,王伟.基于 GPRS 的 GPS 车辆定位监控系统[J].微计算机信息, 2007,5,1:277-279.
- [4]潘巨龙.ARM9 嵌入式系统构建与应用.北京:清华大学出版社, 2006.8.

作者简介:徐 橡(1982-),女(汉),湖北黄冈,西华大学电气信息学院 2005 级研究生,主要研究方向为嵌入式系统的应用与研究;王 平(1970-),男(汉),四川绵阳,博士,西华大学电气信息学院研究生导师,主要研究方向嵌入式计算机系统、信息处理及信息融合、集成传感器系统等。

Biography:XU Yuan (1982-),female, Huanggang Hubei, Xihua University of Electric Information Institute 2005 graduate, Her research interests are in the application and research on Embedded System;

(610039 四川成都 西华大学电气信息学院)徐橡 王平 任会平
通讯地址:(610039 四川成都西华大学电气信息学院 2005 级研究生)徐橡

(收稿日期:2008.4.20)(修稿日期:2008.6.05)

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>