

Ku波段任意线极化天线单元的仿真设计

李进¹, 施伟²

1.解放军理工大学通信工程学院研究生2队, 江苏 南京 210007, LeeJin1981@gmail.com;

2.总参第63研究所, 江苏 南京 210007

摘要: 本文基于卫星通信移动地球站微带天线阵极化跟踪的应用需求, 利用缝隙耦合的理论设计了一种双线极化激励的微带天线单元, 通过两端口同时馈电并电控调整馈电强度, 从而合成线极化指向可变的辐射场, 为微带天线阵的设计应用做了前期工作。

关键字: 缝隙耦合, 任意线极化, Ku 波段, 微带天线

Arbitrary Polarized Aperture Coupled Microstrip Antennas in Ku Band

Li Jin¹, Shi Wei²

Postgraduate Team 2 ICE, PLAUST, Nanjing 210007, China, LeeJin1981@gmail.com; The 63rd Research Institute of PLA General Staff Headquarters, Nanjing 210007, China

Abstract: Based on the need of arbitrary polarized in Satellite Communication, this paper has applied the theory of aperture coupled to design a two line polarized microstrip antenna. By feeding simultaneously and modify the ratio, we obtain a arbitrary polarized microstrip antenna, and be suited for the Ku antennas array design.

Key Words: Aperture coupled, Line polarized, Ku band, Microstrip antenna

1 引言

微带天线以其体积小、重量轻、低剖面、易于加工以及易与有源器件及电路集成等诸多优点, 在通信、雷达等领域得到广泛的应用。本文基于口径耦合的相关理论, 设计了用于Ku波段双线极化激励的微带天线单元, 进而研究该单元辐射任意线极化指向的电磁波的特性, 该种结构在卫星通信、测控等领域具有巨大的应用潜力。

缝隙耦合微带天线是Pozar在1984年首先提出的[1], 与传统的同轴馈电或侧馈相比, 缝隙耦合的主要优点是其馈电网络和无源辐射单元分别安置在两层介质板上, 可以分别进行优化设计, 并且辐射部分与馈线部分隔开, 馈线的寄生辐射弱, 交叉极化水平低, 更容易形成双极化天线[2]。

为了展宽天线的带宽, 辐射单元通常采用较厚的介质板, 需要增大缝隙尺寸来保证足够强的能量耦合, 但是随之而来的后向辐射增强, 因此, 利用较小

的缝隙开槽面积得到较大耦合量具有重要意义。Ya zidi等人基于传输线模型分析验证了几种不同的缝隙形状对耦合强度的影响, 并指出与相同尺寸的矩形缝隙相比, H形的缝隙可以得到比较大的耦合量[3]。

本文仿真研究了一种基于双缝隙耦合的双极化微带天线, 通过同时馈电合成任意方向的线极化辐射场。两个线形缝隙正交放置, 等相馈电, 通过调整馈电强度比来调整合成的线极化指向, 最终实现任意线极化辐射的天线单元, 以用于Ku波段可极化跟踪的微带天线阵的设计。

2 天线的结构及其特性分析

双缝耦合实现任意线极化辐射场的天线结构如图1、图2所示, 两条微带馈线同相馈电, 能量通过缝隙耦合到方形贴片上, 若等幅馈电, 则激励起幅度相等、相位相同的TM₀₁模和TM₁₀模, 从而得到沿对角线方向极化的辐射场。天线底部的金属反射板可以抑制天线的后向辐射, 提高天线效率。

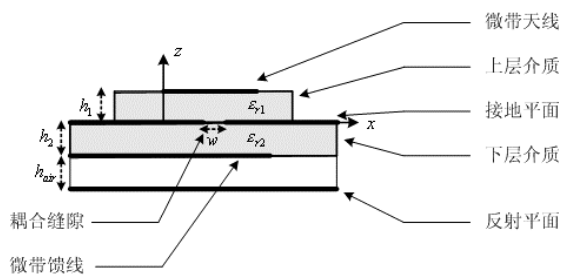


图1 单元天线切面图

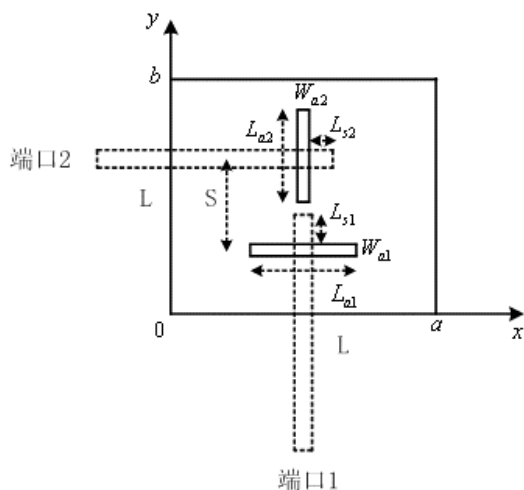


图2 单元天线平面图

天线主体是由两层介质板组成，如图1所示。上层介质板的介电常数影响天线的阻抗带宽：介电常数 ϵ_{r1} 越低，厚度 h_1 越厚，频带越宽，但是厚度的增加会使贴片与缝隙之间的耦合减弱，表面波增强，因此需折衷考虑；下层介质板一般采用较薄的高介电常数介质板，增强介质对场的束缚来减小后向辐射，同时减小背面馈电微带线宽从而减少馈线杂散辐射的干扰。上层介质板的上表面是边长为 L 的方形贴片，边长 L 决定了天线的谐振频率，但是缝隙的耦合使其谐振长度与理论值 $L_g/2$ 有较大偏移，因此贴片尺寸需要与缝隙尺寸一起进行优化设计。两层介质板之间的接地板上刻蚀正交放置的线形缝隙，如图2所示。缝隙长度 L_{a1} 、 L_{a2} 对谐振频率和谐振阻抗有较大影响：长度增长，谐振频率降低，谐振电阻增加，这表明缝隙长度越长，贴片与馈线之间能量耦合能力越强；缝隙宽度 W_{a1} 、 W_{a2} 对于天线的谐振频率和谐振电阻同样具有较大影响，只是影响程度远小于缝隙长度。通常为减少背向辐射，缝隙宽度一般限制在一个最佳量化值[2]。

馈电点到两条缝隙的馈线长度相等，以确保同相馈电。两个正交的缝隙之间的距离 S 越小，缝隙从馈线上耦合能量的能力越强，输入电阻越大，但两个缝隙之间的互耦也同时增大，从而降低了两个缝隙之间的隔离度。因此，需要通过不断地调试来确定缝隙的位置，以达到合适的隔离度。馈线终端开路短截线的长度 L_{s1} 和 L_{s2} 一般小于 $L_g/4$ ，仅起调节输入阻抗中感抗分量的作用，随着 L_s 的增加，输入阻抗感性增强，反映到Smith圆图上为绕一等电阻圆向感性区域移动。

本文在仿真软件HFSS10的辅助下，设计了一个中心频率在12.5GHz的双线极化激励的微带天线。在中心频率设计馈线的宽度和贴片尺寸。在设计过程中，首先通过观察驻波仿真值来修正贴片的尺寸，然后通过观察Smith圆图的阻抗匹配特性来调节缝隙长度及馈线终端开路短截线的长度，由隔离度 S_{21} 来调节缝隙的位置。由于这种分层结构的几何参数较多，因此上述设计过程是一个不断修正不断往复的过程，直到得出一个比较满意的结果，最终通过研制天线实物进行验证。

3 单元天线的设计及仿真结果

在具体设计之前，先利用经验公式确定天线的初始尺寸以及开缝的尺寸及位置[4]。这里上下层介质均选用Rogers RT/duroid 5880 介电常数为2.2，上层介质厚度 $h_1=0.58\text{mm}$ ，下层介质厚度 $h_2=0.25\text{mm}$ ，反射平面距馈线高度 $h_{air}=0.25\text{mm}$ ，由中心频率确定馈线的宽度为0.7mm，依据上节的设计方法，经过仿真软件HFSS优化得到天线单元的尺寸为（单位mm）：

表1 单元天线参数

a=b	La1	Wa1	Ls1	La2	Wa2	Ls2
6.5	5	0.3	2	4.1	0.3	2

图3、图4为经过仿真优化后得到的两端口的驻波、反射系数 S_{11} 和 S_{22} 以及端口隔离度 S_{21} 的仿真结果，从中可以看出，天线的可用带宽在12.25GHz~12.75GHz范围内（ $VSWR < 2$ ）满足要求，两端口的隔离度 S_{21} 在-26dB以下。图5给出了天线的E面和H面辐射方向图。

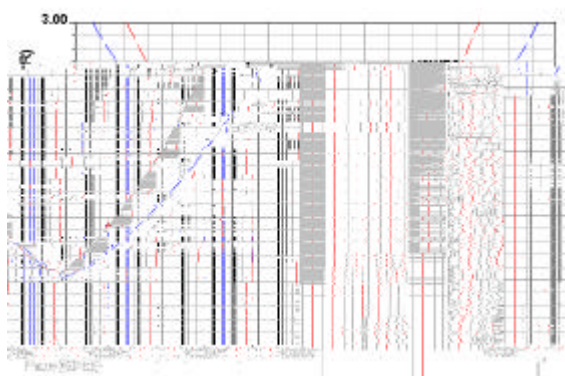


图3 驻波比 (VSWR)

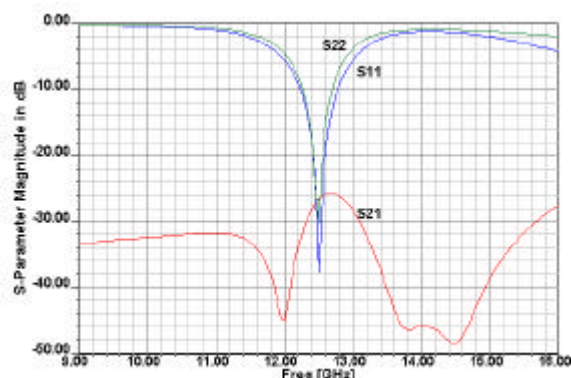


图4 反射系数 (S11、S22、S21)

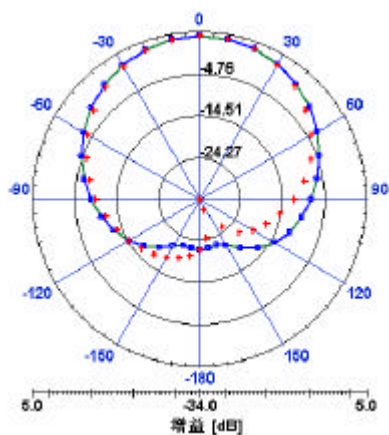


图5 12.5G E面(实线)和H面(虚线)辐射方向图

4 任意极化特性分析

在仿真软件的后处理中,调整馈电强度的大小,可观察到天线远区辐射场的极化方向。由极化的定义可知,天线的极化是指在规定均匀平面波的传播方向前提下,电场强度矢量的振动状态随时间的变化方式,这里考虑天线单元在与天线最大辐射方向相垂直的平面内的电场的振动状态。由于天线两端口同时馈电,因此沿x和y方向的馈电场强会在xoy平面内进行

合成,两端口馈电强度的不等,会产生线极化方向可变的辐射场,其合成示意图如图6所示。通过调整端口馈电强度的比值实现了线极化方向的改变。

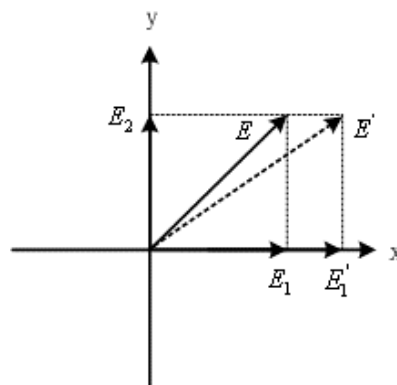
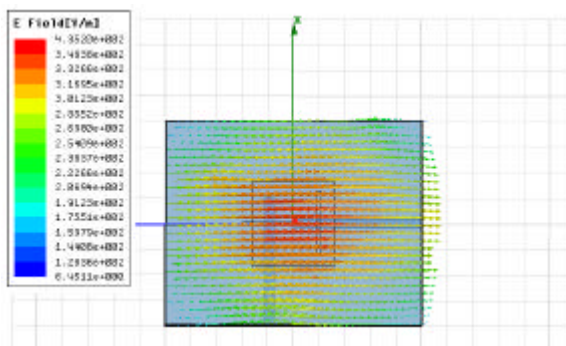
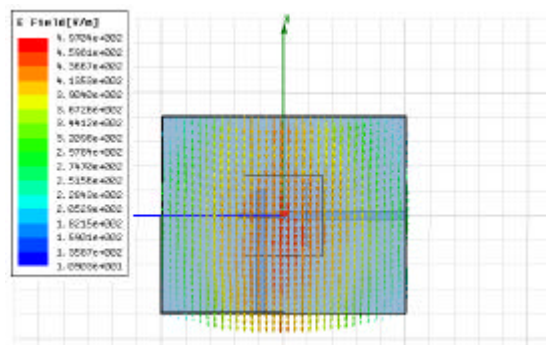


图6 极化合成示意图

软件仿真中设置只有端口一激励、只有端口二激励、端口一和端口二同时1:1等幅激励、端口一(如图中平行于x轴的缝隙对应的端口)和端口二(如图中平行于y轴的缝隙对应的端口)分别以幅度比为 $1/2 : \sqrt{3}/2$ 激励,观察最大辐射方向上远场的电场方向,其仿真结果分别如下图7所示。

(a) $E_1 : E_2 = 1 : 0$ (b) $E_1 : E_2 = 0 : 1$

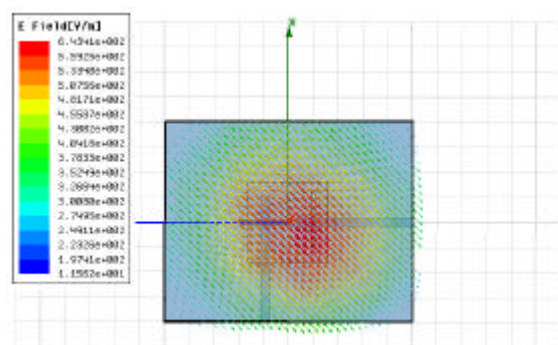
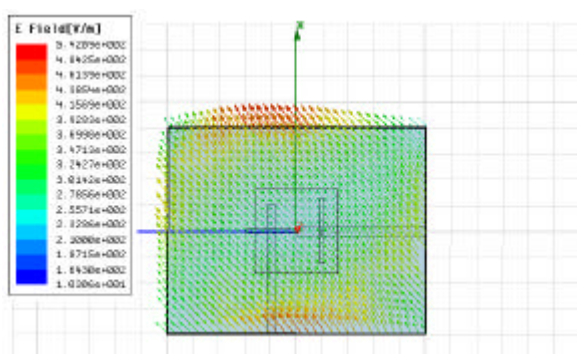

 (c) $E_1 : E_2 = 1 : 1$

 (d) $E_1 : E_2 = 1/2 : \sqrt{3}/2$

图7 极化仿真方向图

从仿真结果可以看出，箭头方向代表了远区最大辐射方向波阵面上电场的指向，随着馈电强度的改变，箭头指向发生了改变，表明极化方向发生改变，

因此，可以通过调整两个正交端口的馈电强度，实现微带天线任意线极化指向的辐射场。

5 结论

本文首先设计了一种Ku波段双线极化微带天线单元，在此基础上，对正交馈电端口同相激励，不等幅馈电，从而在Ku频段实现了具备任意线极化功能的的天线单元，为Ku波段卫星通信地球站微带天线阵的设计奠定基础。

参考文献

- [1] Pozar D M. A microstrip antenna aperture coupled to a microstrip line. Electronics Letters, 1985, 21: 45-50 .
- [2] Pozar D M. A review of aperture coupled microstrip antennas: history, operation, development, and applications. Electrical and Computer Engineering University of Massachusetts and Amherst Amherst, MA 01003, May, 1996.
- [3] Yazidi M EI, Himidi M, and Daniel J P. Transmission line analysis of nonlinear slot coupled microstrip antenna. Electron. Lett, 1992, 28:1406-1408.
- [4] Himidi,M., Daniel J P, and Terret C. Transmission line analysis of aperture-coupled microstrip antenna. Electron Lett, 1989, 25:1229-1230.

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>