

一种可用于卫星通信的微带天线阵元

郑秋容, 卢万铮, 刘 锋

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要:通过计算机仿真对微带贴片天线的阻抗和辐射性能进行了仔细的研究,找出了一些微带贴片几何尺寸与天线特性参数之间的关系,在此基础上提出了一种可用于VSAT站基本上满足C波段卫星通信对频率、带宽、极化、隔离等要求的微带天线阵元的结构。

关键词:卫星通信;微带天线阵元;双频工作

中图分类号:TN015 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)02-0034-03

微带天线的严格解析分析十分困难,早期微带天线的研究主要依靠实验进行,近来的研究多集中在矩量法、时域有限差分法等数值分析方法上。利用这些方法,通过计算机仿真,大大节约了研究成本和研制周期。本文利用矩量法对近年来文献上提出的微带贴片天线双频、双极化、宽带技术的特点及效果进行了仔细的研究,总结归纳出一些微带天线几何尺寸与电特性的关系规律,在此基础上设计出一种同时具有双频、双极化及宽带特性的微带天线阵元,其指标可基本满足卫星通信需要。

1 天线元结构设计

关于如何实现微带贴片天线的宽带、双频、双极化工作,已有大量的文献发表^[1-4],提出了许多新技术。为实现双频工作可以采用正交模双频技术、感抗加载技术、多贴片技术、阵列结构等。正交模双频技术利用矩形贴片长、宽两个尺寸的第一谐振点,天线同时工作于 TM_{10} 和 TM_{01} 两种模式,这种方法结构简单、成本低,但极化、匹配性能差。感抗加载技术是把一段小于四分之一波长的短截线连到辐射边上从而拉大第二谐振点的位置,这种结构比较容易调节和设计双频比,但带宽较窄,只适用于低频段。多贴片可以采用单层多贴片和多层多贴片,每一贴片谐振于一个工作频率,多贴片技术较易同时考虑双极化问题。阵列结构包括1个十字形贴片,工作在低频;4个方贴片分布在它的4个空隙处,工作在高频处。这种结构可以获得小型化和模块化结构,比较适用于双频天线阵列。实现双极化工作的1种最简单的方法就是利用方贴片或圆贴片作为辐射单元,在贴片的2个对称轴上分别用2个探针或两根微带线馈电,但这种结构的带宽窄而且2个输入端的隔离差。用1个平衡馈电网络给1个十字槽馈电,再用十字槽激励微带贴片,可以获得较好的双极化特性和隔离特性,但这种设计结构比较复杂且匹配困难。展宽微带天线频带可采用低介电常数的厚基板;多层贴片结构利用电路理论中的参差调谐的紧耦合回路展宽频带的原理可比较有效地展宽微带天线的频带^[5]。等等。

卫星通信要求微带天线阵的天线元上同时实现宽带、双频、双极化工作,此外还必须考虑极化隔离度、端口隔离度及方便组阵等因素,因此必须对天线元的结构进行仔细考虑。对近年来文献上提出的微带贴片天线双频、双极化、宽带技术的特点及效果进行了仔细的研究,在对各种技术进行大量计算机仿真的基础上总结归纳出一些微带天线几何尺寸与电特性的关系规律,在此基础上设计出一种可基本满足卫星通信需要的天线阵元,其结构如图1所示。

天线元全部采用厚1 mm、 $\epsilon_r = 2.2$ 的介质基板,顶层是工作于6 GHz高频单元的贴片,基板上仅有方形

收稿日期:2002-06-20

作者简介:郑秋容(1973-),男,福建仙游人,硕士生,主要从事电磁场与微波技术研究;

卢万铮(1943-),男,四川合江人,教授,博士生导师,主要从事电磁场与微波技术研究。

贴片,基板支撑贴片。中间一层是设计的关键,此基板的上表面按 4 GHz 低频段设计单元贴片。同时,此贴片与顶层贴片之间构成 6 GHz 谐振腔,并在此板中央部位按高频单元设计耦合口径,在此介质板的另一面制作 50 Ω 的馈线,完成高频微带线的电磁耦合馈电系统的设计。最底层介质基板的上表面为 4 GHz 和 6 GHz 共用接地板,该接地板与中层贴片之间形成 4 GHz 谐振腔,在其中部设计 4 GHz 单元的耦合口径,最底层是 50 Ω 的低频微带馈线。这两个不同频段的缝隙和相应的馈电线彼此正交,便可实现正交极化的要求。为了展宽带宽,两基板之间增加适当厚度的空气隙。反复调整天线各层基板的间距、缝隙尺寸和位置、馈线开路端的长度便可得到所需指标。

通过仿真计算发现 6 GHz 端口的匹配和口径尺寸是设计的难点,通过充分的理论分析和大量的数值计算可以发现,天线的缝隙长度 L_{ap} 的变化不但决定电磁耦合量,而且影响天线的输入阻抗。当 L_{ap} 减小时,微带馈线与贴片间的电磁耦合量减小,阻抗圆弧的半径减小。天线的谐振频率主要是由贴片的尺寸来确定,但缝隙的长度 L_{ap} 也对其稍微有影响:它随 L_{ap} 的增加而降低。在单频率点上。随着微带馈线支节 L_{ap} 的变化输入阻抗在 Smith - 圆图中轨迹的变化趋势与常电阻曲线一致。因此,通过调节 L_{ap} 可以优化阻抗的电阻部分;通过调节 L 可以优化阻抗的电抗部分。一般情况下,口径耦合微带贴片天线的缝隙中心与贴片的中心相对应。在调节中可以发现,如果缝隙中心偏离了贴片中心,当缝隙中心与贴片中心相对位置变化不大时,输入阻抗的变化相对不敏感;但当缝隙中心偏移较多时,输入阻抗就有了明显的变化。当缝隙中心与贴片中心相对应时,耦合因子最大,而当缝隙沿贴片谐振边 W_p 逐渐偏移时,耦合因子将减小,同时谐振回路的中心将沿一直线向 Smith - 圆图短路边的感性区域移动,这是由于偏移较大时,从结构上看象是一小容性支节在接地板上与一小口径相串联,所以呈感性;当沿非谐振边偏移时较大时,其趋势与沿贴片谐振边偏移时一致。另外,厚度 d 对输入阻抗也有影响。当 d 增大时,耦合因子将减小,谐振频率保持不变。

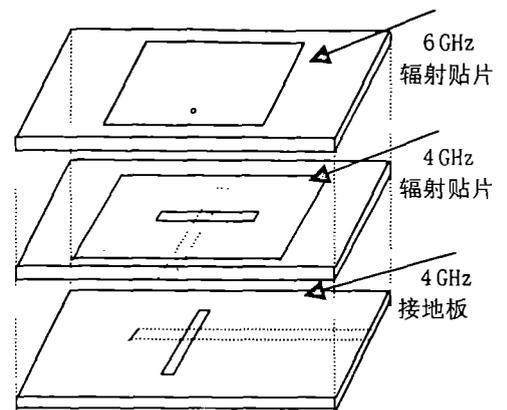


图 1 微带元结构

2 计算机仿真结果

图 2 和图 3 分别为 4 GHz 和 6 GHz 输入端 S_{11} 曲线,4 GHz 输入端 7.5 dB 阻抗带宽为 520 MHz,6 GHz 输入端 7.5 dB 阻抗带宽为 480 MHz。图 4 为 6 GHz 贴片方向图,半弧状为 E_θ 的方向图,小圆圈为 E_ϕ 方向图,由图中可见,当 $\theta = 0^\circ$ 时, E_θ 取最大值,而且 $E_{\theta_{max}}$ 比 $E_{\phi_{max}}$ 高出 32 dB。图 5 为 4 GHz 贴片方向图,大半圆为 E_ϕ 的方向图,小半圆为 E_θ 的方向图,由图可见,当 $\theta = 0^\circ$ 时,取最大值,而且 $E_{\phi_{max}}$ 比 $E_{\theta_{max}}$ 高 30 dB。图 6 和图 7 为表征端口的隔离度的指标 S_{12} (或 S_{21}),由图可见,在两个谐振点上,端口隔离度均大于 35 dB。卫星通信对天线特性参数的要求是:发射:(5.9 ~ 6.4) GHz;接收:(3.7 ~ 4.2) GHz;极化方式:正交线极化;端口隔离度:大于 35 dB。以上各项指标基本上满足了卫星通信系统对天线带宽、极化、双频、端口隔离度等的要求。

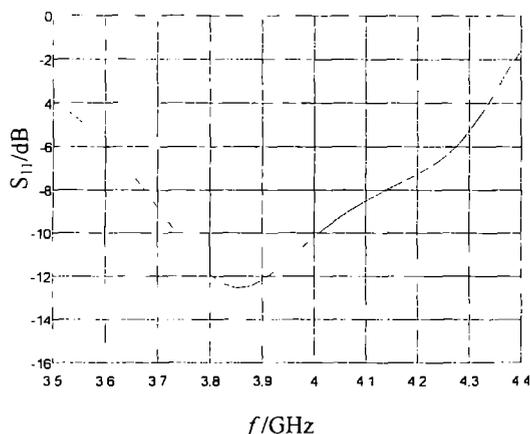


图 2 4 GHz 端口 S_{11} 数值图

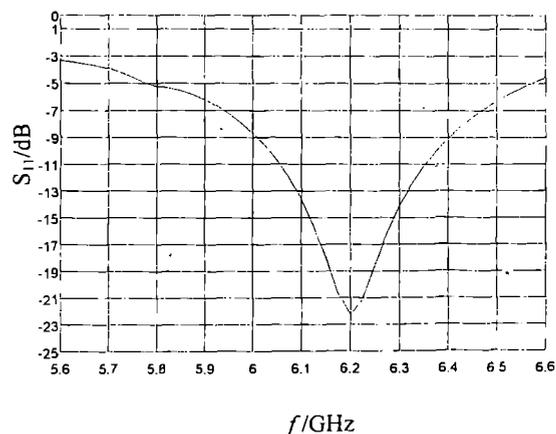


图 3 6 GHz 端口 S_{11} 数值图

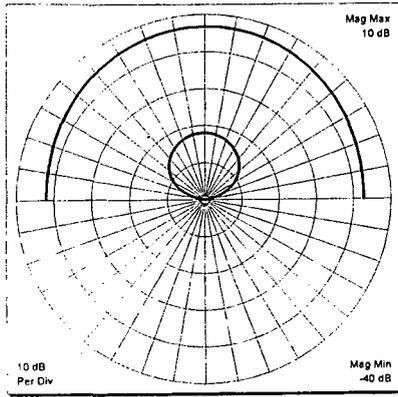


图 4 6 GHz 端口天线方向图

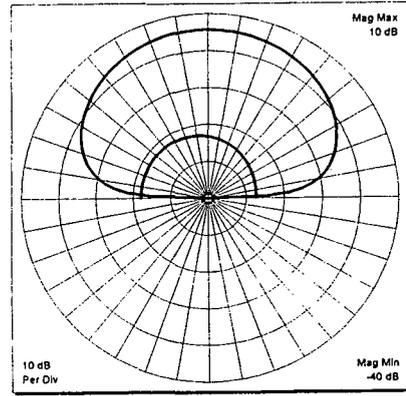


图 5 4 GHz 端口天线方向图

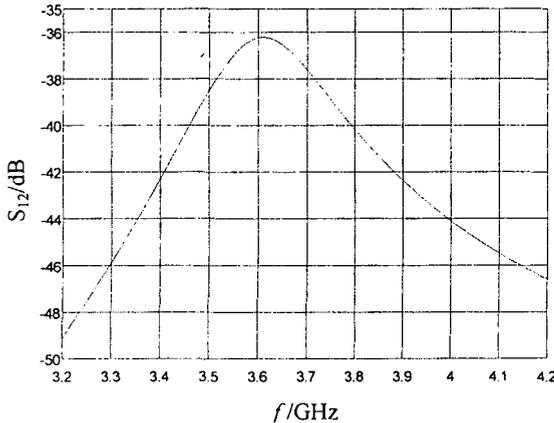


图 6 4 GHz 端口隔离度 S_{12} 数值图

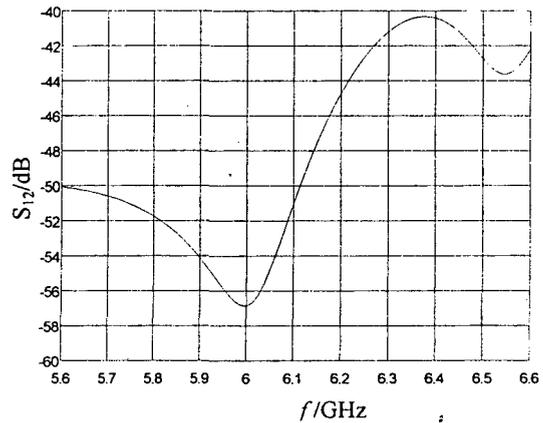


图 7 6 GHz 端口隔离度 S_{12} 数值图

3 测试结果

根据以上的模拟结果制作的微带天线单元,用 HP 标量网络分析仪进行测试,其测试结果如图 8 所示。两者 S_{11} 曲线变化趋势基本一致。由图可见,4 GHz 端口带宽为 420 MHz 能够基本满足卫星通信的需要。

根据计算机仿真及实测结果本文设计的微带天线各项指标均基本满足卫星通信对天线的性能参数要求,这对于最终用微带天线阵替代环焦抛物面天线具有重要的意义。

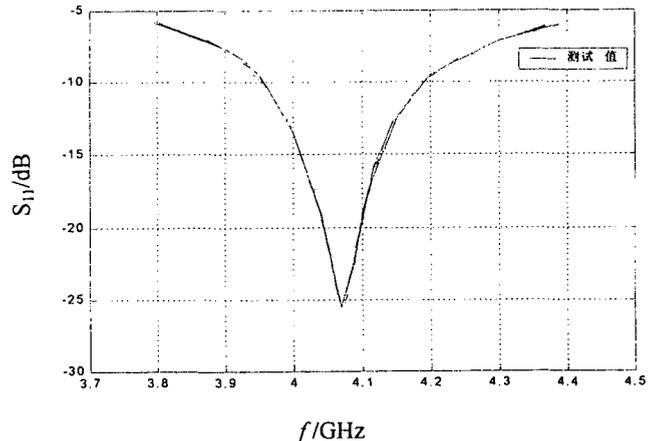


图 8 4 GHz 端口 S_{11} 测试值

参考文献:

- [1] 张行军. C 波段微带天线元的双频特性研究[M]. 北京:人民邮电出版社,1993.
- [2] Derneryd A G, Karlsson L. Broadband microstrip antenna element and array[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1981, 29(1): 140 - 141.
- [3] Richards W F, Davidson S E. A dual - band reactively loaded microstrip antenna[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1988, 33(5): 556 - 561.
- [4] purchine M P. A tunable L - band wide - angle microstrip stacked - patch - element phased array[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1993, 41(5): 680 - 682.
- [5] 刘庭华,章文勋. 双频/双极化贴片天线的研究进展[J]. 现代雷达, 1999, 21(5): 21 - 25.

(编辑: 门向生)
(下转第 40 页)