

# 高隔离度双极化微带天线直线阵的设计

梁仙灵, 钟顺时, 汪 伟

(上海大学通信工程系, 上海 200072)

**摘 要:** 本文介绍一种新型的  $1 \times 16$  双极化微带天线直线阵的设计. 该天线采用双极化角馈方形贴片单元, 阵列的垂直极化端口采用共面馈电, 水平极化端口采用口径耦合, 并在馈电网络中应用反相馈电技术. 实验结果表明, 天线二端口驻波比小于 1.5 的相对带宽分别达到 15% 和 13.5%, 两端口之间的隔离度在频带内高于 33dB, 最大达到 43dB. 本直线阵可用作星载综合口径雷达系统的天线子阵, 便于与有源收发器件结合.

**关键词:** 微带天线; 直线阵; 双极化; 隔离度; 频带; 综合口径雷达

**中图分类号:** TN821. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 03-0553-03

## Design of a Dual-Polarized Linear Microstrip Antenna Array with High Isolation

LIANG Xian-ling, ZHONG Shun-shi, WANG Wei

(School of communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** The design of a novel  $1 \times 16$  dual-polarized linear microstrip antenna array is introduced. The element is the dual-polarized corner-fed square patch, while the vertical polarization port of the array is fed with a coplanar feed, and its horizontal polarization port is fed with the aperture-coupled feed. In addition, the pair-wise anti-phase feeding technique is used in both feed networks. The experimental results show that the bandwidths of  $VSWR < 1.5$  reach 15% and 13.5% for the two ports, respectively, and the isolation between the dual polarized ports is better than 33dB within the operating bandwidth, whose maximum reaches 43dB. This linear array can be used as a sub-array of spaceborne synthetic aperture radar (SAR) system by connecting it with the active transmitter/receiver (T/R) components.

**Key words:** microstrip antenna; antenna array; dual polarization; isolation; bandwidth; synthetic aperture radar

### 1 引言

近年来, 无线通信和雷达系统对天线性能的要求越来越高. 特别是合成孔径雷达 (SAR) 要求重量轻、结构小、制造简单、易共形的宽频带双极化天线. 微带贴片天线以其馈电方式和极化制式的多样化以及馈电网络、有源电路集成一体化等特点越来越受到青睐. 双极化天线发射或接收两个正交极化的电磁波, 因而要求两种极化端口之间有良好的隔离. 为获得较高的隔离度, 许多文献在馈电方式和网络布置方面已做了大量的工作. 文献[1]给出了共面角馈形式的  $2 \times 2$  微带天线方阵, 其隔离度达到 40dB. 对于共面馈电设计, 角馈形式的微带天线阵相对于边馈形式有较高的隔离度<sup>[2]</sup>. 已有的综合口径雷达微带天线阵一般采用口径耦合馈电<sup>[3~6]</sup>, 通过在接地板开两个相互垂直的缝隙, 来激励两种正交的极化波. 文献[7]为这种类型的双极化口径耦合微带天线阵, 采用  $2 \times 8$  元, 其隔离度达到 30dB. 然而, 对于微带天线直线阵要获得较高

的隔离度却比较难, 文献[8]给出了  $1 \times 6$  双极化微带天线直线阵, 其隔离度只有 20dB 左右.

本文给出一种新型的双极化微带天线直线阵的设计, 采用角馈方形贴片, 分别选用共面馈电和口径耦合馈电对正交双极化端口进行激励. 在馈电网络中还使用了反相馈电技术, 改善了两端口的隔离度. 下面依次介绍天线单元与阵列的设计, 天线参数通过 Ansoft Esemble 软件进行理论计算与优化, 然后给出 16 元阵的实验结果.

### 2 单元设计

角馈方形微带贴片具有良好的正交极化辐射特性且易于制造, 因此选择它作为阵列天线的辐射单元. 其结构如图 1 所示. 本单元采用双层倒置形式, 下层为馈电方形贴片, 边长为  $a$ ; 上层为倒置的寄生贴片, 边长为  $b$ . 这样可展宽频带宽度, 并且利用最上层介质对天线起保护作用. 两种极化采用不同的方式进行激励, 水平极化端口采用口径耦合馈电, 在中间

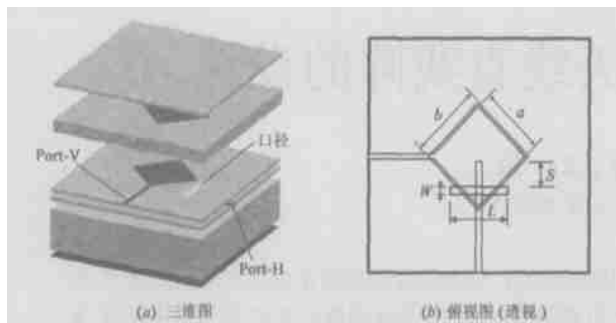


图 1 单元结构图

接地板上开一个  $L \times W$  的缝,以便将能量从馈电层耦合到贴片层;垂直极化端口采用共面馈电.两个馈电网络分布在不同的介质层上,大大减小了它们之间的互耦影响,也增大了网络的可用空间,减小馈线之间的耦合(通常要求两馈线之间的间距大于三倍线宽<sup>[9]</sup>).另外,离接地板  $1/4$  波长处加了一块金属地板,中间用泡沫支撑,这样可以减小由缝隙所引起的背向辐射,也有利于提高天线的增益.

### 3 阵列设计

阵列的设计主要是馈电网络的设计,即如何在给定有限的空间内设计网络来提高两端口之间的隔离度,实现良好的匹配,并尽可能地减小由馈线所引起的损耗.图 2 为 16 单元

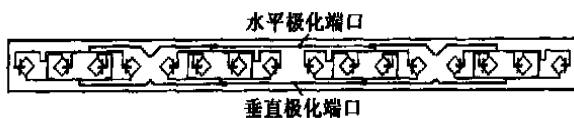


图 2 16 元阵透视图

线阵的结构透视图,整个结构以四个贴片单元为一个基本单元,分成两组,即两个相邻的贴片单元为一组.对于垂直极化馈电网络,相邻贴片单元之间采用等幅反相馈电,而组与组之间则采用对称等幅同相馈电;对于水平极化馈电网络,两组贴片单元也都采用等幅反相馈电的形式,但一组为外侧馈电,另一组为内侧馈电.从馈线网络来看,两套馈线网络都采用了并馈和串馈交替使用的方法,使得由通常并馈所需的四层网络减少至两层网络,弥补了天线阵网络设计空间的不足,代价是当频率偏移中心频率时波束会略有展宽.另外,与串馈相比,多了一层馈线网络,而一个波长的馈线损耗约  $0.15\text{dB}$ <sup>[9]</sup>.但是,串馈带来的后果是导致各单元激励电流的幅度和相位不均匀,尤其当频率变化较大时,各单元相位的差别更加明显,从而造成副瓣电平的抬高,增益降低.

对于各单元等幅同相激励的直线阵,根据腔模理论可得出天线阵在远区场方向图的表达式<sup>[10]</sup>:

垂直极化:

$$F_V(\theta) = j_0(u) \left( 1 + \frac{u^2}{u^2 - 2} \right) \cdot \frac{\sin(N \cdot d \sin \theta / \lambda)}{N \sin(\theta / \lambda)} \quad (1)$$

水平极化:

$$F_H(\theta) = j_0(u) \left( 1 - \frac{u^2}{u^2 - 2} \right) \cos \frac{\sin(N \cdot d \sin \theta / \lambda)}{N \sin(\theta / \lambda)} \quad (2)$$

$$\text{式中: } j_0(u) = \sin u / u, u = \sqrt{2} - a \sin \theta \quad (3)$$

由以上式子,可算得垂直极化的旁瓣电平为  $-13.34\text{dB}$ ,水平极化的旁瓣电平为  $-13.35\text{dB}$ .

### 4 实验结果

通过 Ansoft Ensemble 软件的理论仿真,得出天线的参数为:  $a = 9\text{mm}$ 、 $b = 10\text{mm}$ 、 $L = 8\text{mm}$ 、 $W = 1\text{mm}$ 、 $S = 4.35\text{mm}$ .实验天线的两端口驻波比测试曲线如图 3(a) 所示,其水平极化端口驻波比小于 1.5 的相对阻抗带宽为 15%,垂直极化端口的相对阻抗带宽为 13.5%(中心频率  $9.6\text{GHz}$ ).两端口测得的隔离度如图 3(b) 所示,可见在整个工作频带内 ( $9.375 \sim 9.825\text{GHz}$ ),两种极化的端口隔离度优于  $33\text{dB}$ ,最高可达  $43\text{dB}$ .从图中可以发现两种极化的驻波有一定程度的频率偏移,这主要是由于组装时加上胶层造成的.考虑到胶层比较薄以及计算机硬件的限制,为了节省计算时间通常在计算时忽略胶层的影响,而实际加工时,胶层的厚度又很难控制.由于加上胶层后,介质的有效厚度相应增加,改变了馈线的特性阻抗,从而引起频带的偏移.

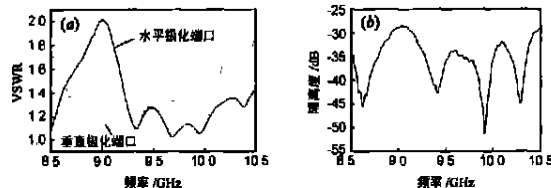


图 3 (a) 两个端口的驻波比和 (b) 隔离度测试值

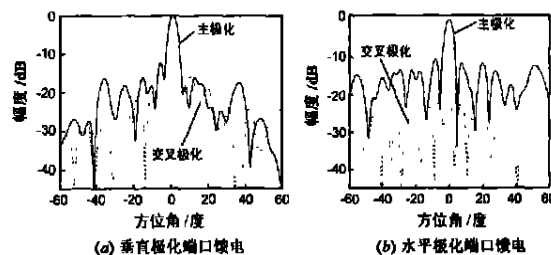


图 4 辐射方向图和交叉极化测试值

图 4 为  $f = 9.6\text{GHz}$  时对两种极化测得的辐射方向图及其交叉极化曲线.可见,两种极化的旁瓣电平分别为  $-12.3\text{dB}$  和  $-11\text{dB}$ ,与理论值约  $-13.35\text{dB}$  相近.交叉极化电平分别为  $-20\text{dB}$  和  $-16\text{dB}$ .

### 5 结论

本文介绍了一种新型的  $1 \times 16$  双极化微带天线直线阵.该天线的两种极化分别采用共面和口径耦合两种不同的方式进行激励.并采用角馈单元和反相馈电技术,改善了天线阵双极化端口之间的隔离度.实验结果表明,两端口之间的隔离度在频带内高于  $33\text{dB}$ ,最大达到  $43\text{dB}$ ;驻波比小于 1.5 的相对带宽达到 13.5% 以上.本设计可用作星载综合口径雷达系统的天线子阵.

### 参考文献:

- [1] Shi-Chang Gao, Shun-Shi Zhong. Dual-polarized microstrip antenna array with high isolation fed by coplanar network[J]. Microwave and Op-

- tical Technology Letters, 1998, 19(3): 214 - 216.
- [ 2 ] S S Zhong, Xue-xia Yang, et al. Corner-fed microstrip antenna element and arrays for dual-polarization operation[J]. IEEE Trans, 2002, AP-50(10): 1473 - 1480.
- [ 3 ] D M Pozar. Microstrip antenna aperture coupled to microstrip line[J]. Electron Letters, 1985, 21(1): 49 - 50.
- [ 4 ] Peter L sullivan, Danitl H schaubert. Analysis of an aperture coupled microstrip Antenna[J]. IEEE Trans, 1986, AP-34(8): 977 - 984.
- [ 5 ] Frederic Croq, David M Pozar. Millimeter-wave design of wide-band aperture coupled stacked microstrip antennas[J]. IEEE Trans, 1991, AP-39(12): 1770 - 1776.
- [ 6 ] Xian Hua Yang, Lotfollah Shafai. Characteristics of aperture coupled microstrip antennas with arirous radiating patches and coupling apertures[J]. IEEE Trans, 1995, AP-43(1): 72 - 78.
- [ 7 ] 崔俊海, 钟顺时等. 一种新型双极化口径耦合微带天线阵[J]. 应用科学学报, 2002, 20(12): 373 - 376.
- [ 8 ] L J du Toit, J H Cloete. Dual polarized linear microstrip patch array [A]. IEEE AP-S Int Symp Dig[C]. Blacksburg, VA: IEEE, 1987. 810 - 813.
- [ 9 ] 杜小辉, 李建新, 郑学誉. X波段双极化有源相控阵天线的设计[J]. 现代雷达, 2002, 9: 67 - 70.

- [ 10 ] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.

#### 作者简介:



梁仙灵 1978年9月生于浙江台州, 2002年毕业于西安电子科技大学电磁场与微波专业, 现为上海大学电磁场与微波技术专业博士研究生, 研究方向为微带天线与微波电路.



钟顺时 上海大学通信与信息工程学院教授, 博士生导师, 1939年9月生于浙江瑞安, 1960年军事电信工程学院毕业, 1980~1982年美国华盛顿大学和伊利诺伊大学访问学者, 长期从事电磁场与微波技术专业教学与科研, 在国内外发表论文200余篇, 著译4部, 获全国电子类和上海市优秀教材奖2项, 国家和省部级科技进步奖7项, 主要研究方向为现代天线理论与技术等.