

# 一种新型宽带双极化微带贴片天线的设计

赵后亮, 尹家贤

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

**摘要:** 运用口径耦合理论、腔模理论、反相馈电技术和多层贴片结构设计出一种新型的 P 波段(中心频率为 0.75 GHz)宽带双极化微带贴片天线。天线的两个极化端口采用共面馈电;馈电网络设计中采用短路耦合线实现反相馈电。仿真结果表明该天线两个极化端口实际增益均达到 8.5 dB,水平极化端口在 0.64~0.85 GHz 频率范围内驻波比小于 2,相对带宽为 28%;垂直极化端口在 0.68~0.85 GHz 频率范围内驻波比小于 2,相对带宽为 22.6%,两端口隔离度高于 53 dB。

**关键词:** 双极化;交叉极化;微带天线;短路耦合线

中图分类号:TN828 文献标识码:A 文章编号:1672-2337(2013)02-0214-05

## Design of Novel Broadband Dual-Polarized Microstrip Patch Antenna

ZHAO Hou-liang, YIN Jia-xian

(School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** A design of novel dual-polarized microstrip patch antenna with wide bandwidth for P-band (the center frequency is 0.75 GHz) application is presented in this paper. Aperture-coupled theory, cavity model theory, anti-phase feeding technique and stacked patch antenna architecture are adopted in the antenna design in order to increase the bandwidth. Both of the polarization ports are fed with a coplanar microstrip line. Short-circuited coupled-line technique is considered in design of the anti-phase feeding network, which leads to lower cross polarization. The simulated results show that the realized gains of both the polarization ports reach 8.5 dB. The relative impedance bandwidth is 28% from 0.64 GHz to 0.85 GHz for horizontal polarized port and 22.6% from 0.68 GHz to 0.85 GHz for vertical polarized port when VSWR is less than 2, while the isolation between the dual polarization ports is better than 53 dB.

**Key words:** dual polarization; cross polarization; microstrip antenna; short-circuited coupled-line

## 1 引言

微带天线的显著特点是体积小重量轻、能与飞行器共形、易于微波集成、便于实现双极化<sup>[1]</sup>,而双极化天线又具有展宽应用频率、较小天线负载以及获取更多目标信息等优点,因此双极化微带天线成为目前研究的重点,在通信、雷达等领域获得了广泛应用。但要求双极化微带天线同时具有宽频带、高隔离度、低交叉极化等特性,具有一定难度。近年来,国内外对此项工作进行了一定的研究并取得了一些成果<sup>[2-10]</sup>。

为了实现双极化、拓展天线带宽以及减少馈

电网络对天线辐射单元的耦合,目前主要通过在地接板上开正交的缝隙来进行口径耦合馈电<sup>[2-8]</sup>,但交叉极化分量无法得到有效抑制。为了抑制交叉极化,通常采用的实现方法是半波长传输线反相馈电<sup>[9-10]</sup>,而半波长传输线在用作反相器时相位频带较窄。

本文综合运用口径耦合理论、腔模理论、多层贴片结构以及短路耦合线反相馈电技术设计出一种 P 波段(中心频率为 0.75 GHz)宽带双极化微带贴片天线。利用仿真软件对该天线进行了仿真优化。仿真结果表明,该天线两个极化端口的实际增益均达到 8.5 dB;水平极化端口相对带宽为 28%,E 面交叉极化电平小于 -36.5 dB,H 面交叉

极化电平小于-38.2 dB;垂直极化端口相对带宽为22.6%,E面交叉极化电平小于-58.1 dB,H面交叉极化电平小于-42.9 dB;两个端口的隔离度高于53 dB。证明了该天线具有宽频带、低交叉极化以及高隔离度等诸多优良性能。

## 2 腔模理论分析

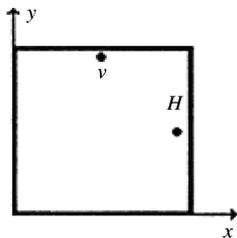
罗远祉等人在1979年提出了空腔模型理论。该理论基于薄微带天线( $h \ll \lambda_0$ )的假设,将微带贴片与接地板之间的空间看成是四周为磁壁、上下为电壁的谐振空腔。一般的双极化方形微带贴片天线如图1所示,根据Maxwell方程和空腔边界条件<sup>[11]</sup>,可以得出:

$$E_z = \sum_{m,n} B_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{a} \quad (1)$$

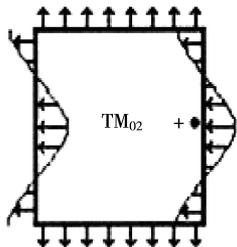
式中,

$$B_{mn} = jk_0 \eta_0 I_0 \frac{\delta_{0m} \delta_{0n}}{a^2 (k^2 - k_{mn}^2)} \cos \frac{m\pi x_0}{a} \cos \frac{n\pi y_0}{a} j_0 \left( \frac{m\pi d_0}{2a} \right)$$

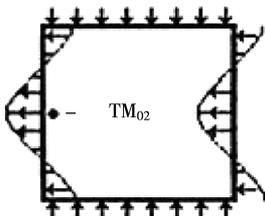
$\delta_{0m}$  和  $\delta_{0n}$  是聂曼(Neumann)数,  $x_0, y_0$  是激励点的位置,  $d_0$  是馈电微带线的宽度。



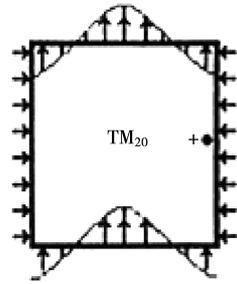
(a) 两个极化端口中心正交馈电示意图



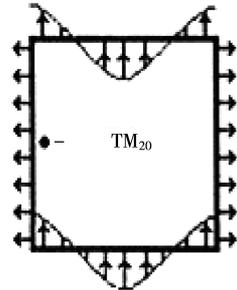
(b) 右边单独激励产生的  $TM_{02}$  模式示意图



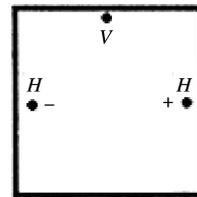
(c) 左边单独激励产生的  $TM_{02}$  模式示意图



(d) 右边单独激励产生的  $TM_{20}$  模式示意图



(e) 左边单独激励产生的  $TM_{20}$  模式示意图



(f) 水平极化端口等幅反相馈电示意图

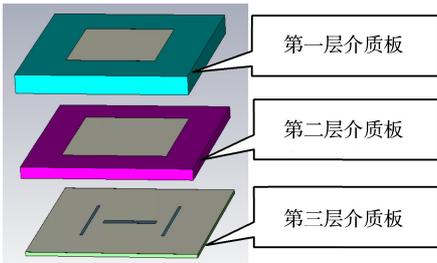
图1 方形微带贴片单元的场分布模型

该微带贴片天线垂直极化端口主要工作于  $TM_{01}$  模式,水平极化端口主要工作于  $TM_{10}$  模式。除了  $TM_{01}$  模式和  $TM_{10}$  模式之外,该单元还会激励起高次模,一般只考虑  $TM_{11}$ 、 $TM_{02}$  和  $TM_{20}$  模,如图1(b)~(e)所示。激励起的高次模会增加天线的交叉极化分量。所以,对于要求具有低交叉极化特性的双极化天线来讲,必须抑制高次模的产生。由式(1),当馈电点的位置在边上正中间时,系数  $B_{11}$  为零,该单元不会激励起  $TM_{11}$  模。比较(b)、(c)和(d)、(e),单独在左边激励时产生的  $TM_{02}$  和  $TM_{20}$  模的电场方向与单独在右边激励时产生的  $TM_{02}$  和  $TM_{20}$  模的电场方向正好相反,因而在两条边上同时进行等幅反相馈电(如图1(f)所示),从而降低高次模带来的交叉极化。

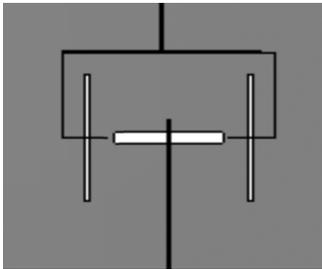
## 3 天线设计

设计的天线结构如图2所示。采用双层方形

贴片结构,有利于展宽天线频带。下层为激励贴片,尺寸为 158 mm;上层为寄生贴片,尺寸为 134 mm。第一、二层介质板使用介电常数较低的泡沫材料,以利于场的辐射,同时也降低了微带天线的  $Q$  值,进一步增加了天线的带宽。第一层介质板厚度为 35 mm,第二层介质板厚度为 15 mm。第三层介质板为馈电层,使用介电常数较高的环氧树脂材料,以利于场的束缚,厚度为 1 mm。第二、三层介质板之间为开缝接地板,刻有成轴对称结构的三条矩形缝。第三层介质板的下方是馈电网络,两个极化端口微带馈线均采用中心正馈的方式,以增强辐射贴片与馈线之间的耦合,馈线宽度均为 1 mm。



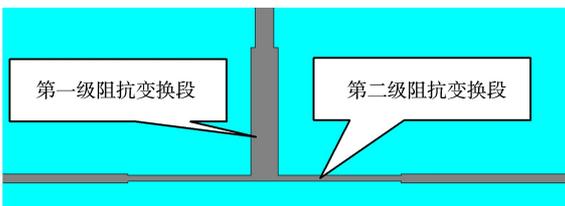
(a) 天线立体侧视图



(b) 天线的馈电网络



(c) 短路耦合线

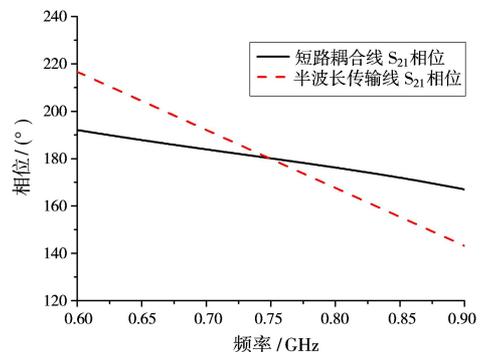


(d) 微带 T 型功分器

图 2 天线结构图

水平极化端口采用双缝反相耦合馈电,两个耦合缝为对称结构,缝宽均为 3 mm,缝长均为 118 mm,两缝之间的间距为 120 mm。水平极化端口可以通过调整耦合缝的宽度和长度以及两条耦合缝的间距来进行阻抗匹配,通过调整馈线末端距离耦合缝的长度来进行电抗匹配。为了在较宽频带内保持相位的相对稳定,水平极化端口通过短路耦合线实现反相馈电,如图 2(c)所示,短路耦合线耦合部分长度为 56 mm,间距为 0.29 mm。图 3 为短路耦合线和半波长传输线  $S_{21}$  相位变化曲线,可以看出短路耦合线比半波长传输线具有更好的相位稳定性。图 4 为短路耦合线反射系数曲线。可以看出短路耦合线可以在较宽的工作频带内保持较小的反射系数。因此,使用短路耦合线也可以实现等幅反相馈电技术,而且短路耦合线与目前常用的错位倒相馈电技术相比具有更好的相位带宽。为了在较宽频带内获得良好的阻抗匹配,进一步降低反射系数,水平极化端口微带馈线中的 T 型功分器采用两级阻抗变换段,如图 2(d)所示,第一级阻抗变换段长度为 53 mm,微带线宽度为 2.54 mm;第二级阻抗变换段长度为 52 mm,微带线宽度为 0.89 mm。图 5 为该微带 T 型功分器的反射系数曲线,可以看出采用了两级阻抗变换段的微带 T 型功分器在较宽的工作频带内保持了较小的反射系数。垂直极化端口采用中心开缝耦合激励,缝宽为 10 mm,缝长为 82 mm。垂直极化端口可以通过调整耦合缝的宽度和长度匹配阻抗,通过调整馈线末端距离耦合缝的长度来匹配电抗。

馈电网络中,水平极化端口采用反相馈电的耦合缝组合工作,使得激励的主极化辐射分量同向叠加,同时交叉极化辐射分量反向抵消。垂直极化端口通过接地板中心的耦合缝馈电,具有良好的结构对称性和较高的耦合效率。此外,考虑到进一步降低馈电网络损耗,设计中馈线转弯处均采用  $45^\circ$  弯角。

图 3 短路耦合线和半波长传输线  $S_{21}$  相位变化曲线

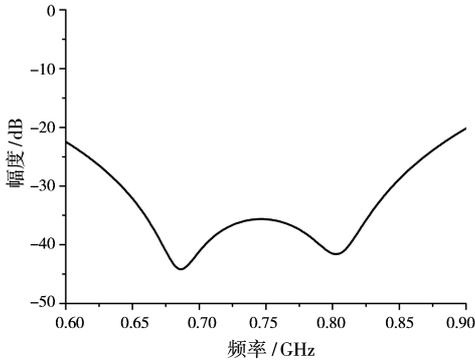


图4 短路耦合线反射系数曲线

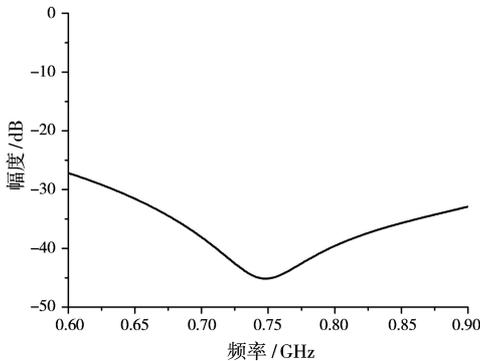


图5 微带T型接头的反射系数曲线

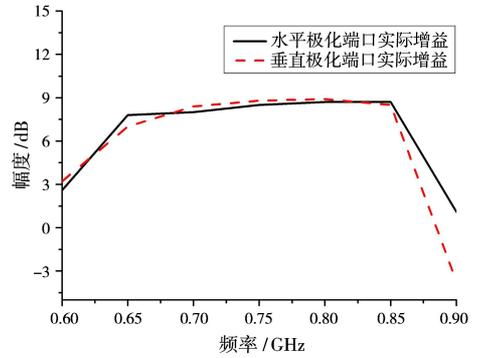


图6 两端口的实际增益

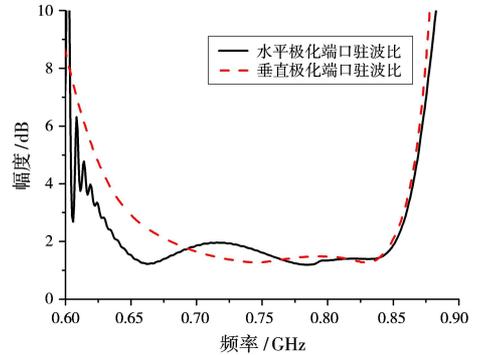
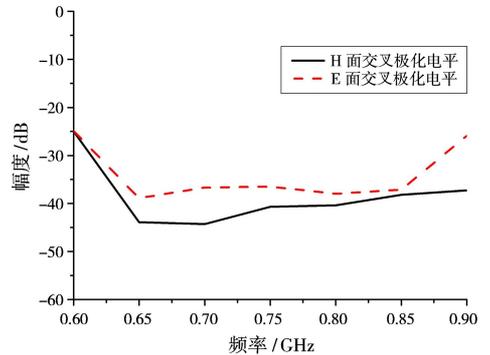


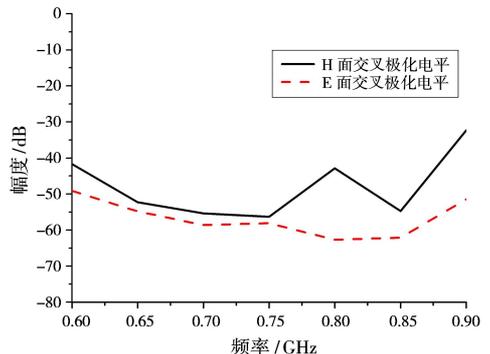
图7 两端口驻波比

### 4 仿真结果

基于以上设计,利用电磁仿真软件 CST 对该天线进行了仿真和优化。图 6 给出了两个极化端口的实际增益,图 7 给出了两个极化端口的驻波比,图 8 分别给出了两个极化端口的交叉极化电平,图 9 给出了两个极化端口的隔离度。仿真结果表明,该天线两个极化端口的实际增益均达到 8.5 dB;水平极化端口在 0.64~0.85 GHz 频率范围内驻波比小于 2,相对带宽为 28%,在此频率范围内 E 面交叉极化电平小于 -36.5 dB, H 面交叉极化电平小于 -38.2 dB;垂直极化端口在 0.68~0.85 GHz 频率范围内驻波比小于 2,相对带宽为 22.6%,在此频率范围内 E 面交叉极化电平小于 -58.1 dB, H 面交叉极化电平小于 -42.9 dB;两个端口的隔离度在 0.64~0.85 GHz 频率范围内高于 53 dB。由此可见,该天线同时具有宽频带、高隔离度以及低交叉极化电平等诸多优良性能。



(a) 水平极化端口的交叉极化电平



(b) 垂直极化端口的交叉极化电平

图8 两个极化端口的交叉极化电平

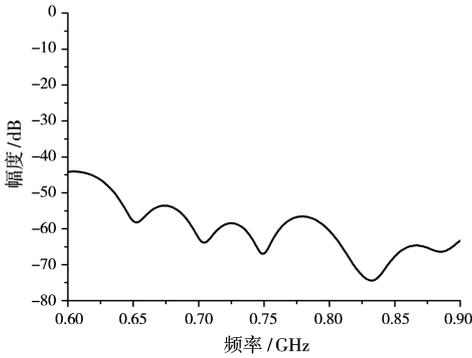


图 9 两端口隔离度

## 5 结束语

双极化微带天线通常要求具有较低的交叉极化和较高的隔离度。而在较宽的频带内,获得良好的交叉极化特性和端口隔离特性一直是该领域研究的一个难点。本文综合运用口径耦合理论、腔模理论、短路耦合线反相馈电技术和多层贴片结构设计了一种宽带双极化微带天线,并利用电磁仿真软件进行了仿真优化。缝隙耦合的馈电方式以及多层贴片结构可以获得较宽的频带,利用具有宽带特性的短路耦合线实现反相馈电既有效抑制了交叉极化又降低了对天线带宽的影响,实现了在较宽的频带内对交叉极化的有效抑制。地板上的耦合缝由于在结构上具有良好的对称性,获得了较高的端口隔离度。仿真结果证明该天线具有宽频带、低交叉极化以及高隔离度等诸多优良性能。为了获得高增益,可以将该天线作为单元组成阵列结构,以满足实际工程需要,因此具有良好的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 刘克成,宋学诚. 天线原理[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1989.
- [2] Tsao C H, Hwang Y M, Kilburg F, et al. Aperture-Coupled Patch Antennas with Wide-Bandwidth and Dual-Polarization Capabilities[C]// Proc IEEE Antennas and Propagation Symp Dig, Syracuse, NY: [s. n.], 1988:936-939.
- [3] Wong K L, Tung H C, Chiou T W. Broadband Dual-Polarized Aperture-Coupled Patch Antennas with Modified H-Shaped Coupling Slots[J]. IEEE Trans on

Antennas and Propagation, 2002, 50(2):188-191.

- [4] 李书杰,鄢泽洪,张小苗. 16元Ku波段微带天线阵的设计[J]. 微波学报, 2006, 22(s1):32-34.
- [5] 徐永杰,姜兴. Ku波段宽带双频双极化微带天线阵的设计[J]. 电波科学学报, 2010, 25(1):146-150.  
XU Yong-jie, JIANG Xing. Design of Broadband Dual-Frequency and Dual-Polarized Microstrip Antenna Array at Ku-Band[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(1):146-150. (in Chinese)
- [6] 梁仙灵,钟顺时,汪伟. 高隔离度的双极化口径耦合微带单元与阵列天线[J]. 上海大学学报, 2007, 13(1):10-13.  
LIANG Xian-ling, ZHONG Shun-shi, WANG Wei. Dual-Polarization Aperture-Coupled Microstrip Element and Array Antenna with High Isolation[J]. Journal of Shanghai University, 2007, 13(1):10-13. (in Chinese)
- [7] 林炫龙,姜兴,李思敏. 一种十字形缝隙耦合的Ku波段宽频带双极化微带天线[J]. 现代电子技术, 2007, 30(17):52-54.
- [8] 李昂. 一种Ka/Ku双波段双极化共口径阵列天线[J]. 雷达科学与技术, 2011, 9(4):366-369.  
LI Ang. A Ka/Ku Dual-Band Dual-Polarized Shared-Aperture Array[J]. Radar Science and Technology, 2011, 9(4):366-369. (in Chinese)
- [9] 梁仙灵,钟顺时,汪伟. 高隔离度双极化微带贴片天线的设计[J]. 电波科学学报, 2006, 21(5):731-734.  
LIANG Xian-ling, ZHONG Shun-shi, WANG Wei. Design of a Dual-Polarized Microstrip Patch Antenna with High Isolation[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2006, 21(5):731-734. (in Chinese)
- [10] 黄盈椿,李倩,吕晓德. 高隔离度双极化微带天线阵的设计[J]. 电子测量技术, 2006, 29(6):29-31.
- [11] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安电子科技大学出版社, 1991:18-26.

## 作者简介:



赵后亮 男, 1984年生, 江苏徐州人, 国防科技大学电子科学与工程学院硕士研究生, 主要研究方向为天线理论与技术。

E-mail: zhaohouliang198411@163.com

尹家贤 男, 1964年生, 浙江杭州人, 国防科技大学电子科学与工程学院副教授、硕士生导师, 主要研究方向为微波毫米波技术。