

# Design of Broad Band Microstrip Antenna at S Band

Daoyu Wang, Min Wang, Yuan Yuan, Wen Wu

JGMT Ministerial Key Laboratory, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu  
Email: wangmin@mail.njust.edu.cn

Received: Dec. 9<sup>th</sup>, 2015; accepted: Dec. 24<sup>th</sup>, 2015; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

A broad band microstrip antenna is designed at S band in this paper. The antenna is composed of a differential-fed microstrip patch and a broad band 180°-phase-shift power divider. The 180°-phase-shift power divider converts the single feeding port to the differential feeding ports. Then, the bandwidth is broadened by adding air layer and cutting double cross slots on the patch. Due to the differential-feeding structure, the proposed antenna has not only the broad band characteristic, but also desirable good radiation performance during the bandwidth such as low cross-polarization, symmetric patterns and stable gain. The size of the designed antenna rectangular patch is 45.5 mm × 35.4 mm ( $W \times L$ ). The antenna height is 13.5 mm. The measured results show that an impedance bandwidth from 2.5 to 3.5 GHz, *i.e.*, 33.3%, is achieved. The pattern is quite stable during the bandwidth. The cross-polarization is under -20 dB.

## Keywords

Microstrip Antenna, Broad Band Bandwidth, Differential Feeding, Low Cross-Polarization, 180° Phase Shift

---

# S波段宽带微带天线设计

王道雨, 汪敏, 袁媛, 吴文

南京理工大学JGMT国防重点学科实验室, 江苏 南京  
Email: wangmin@mail.njust.edu.cn

## 摘要

本文设计了一种S波段宽带微带天线。该天线由差分微带天线和宽带 $180^\circ$ 相移功分器两部分组成。首先利用 $180^\circ$ 宽带相移功分器将单馈端口转换成差分馈电端口，然后通过加空气层和在贴片上开双十字槽进行带宽扩展。由于采用了差分馈电结构，天线既扩展了工作带宽，又在带宽内实现了良好的辐射性能，例如交叉极化低、方向图对称且增益稳定。研制出的天线矩形贴片尺寸为 $45.5\text{ mm} \times 35.4\text{ mm}$  ( $W \times L$ )，天线高度为 $13.5\text{ mm}$ 。测试结果表明天线在 $10\text{ dB}$ 回波损耗上的带宽为 $2.5\sim 3.5\text{ GHz}$ ，约 $33.3\%$ ，带宽内方向图稳定，交叉极化在 $-20\text{ dB}$ 以下。

## 关键词

微带天线，宽频带，差分馈电，低交叉极化， $180^\circ$ 相移

## 1. 引言

微带天线具有体积小、重量轻、低剖面、易构造等优点，在通信与雷达系统中应用广泛。然而普通微带天线是一种高Q谐振天线，工作频带很窄。多年来国内外学者对展宽微带天线频带作了很广泛的研究，并进行了归纳总结[1] [2]。1995年，K. F. Lee首先提出通过加载U型槽和采用厚空气介质来拓展带宽，带宽达到 $10\%\sim 40\%$  [3]。此后该类天线得到大量研究和应用。然而这种天线在带宽内增益不稳定、交叉极化高，限制了它的应用。差分微带天线有效的解决了上述问题[4]-[6]。由于差分微带天线具有两个端口，Y. P. Zhang [5]根据U型槽贴片设计思路，选择适用于差分微带天线的H型槽的对称结构，带宽达到 $16\%$ 。Q. Xue等[6]引入对称的双十字槽，又采用厚泡沫材料进一步展宽差分微带天线带宽，带宽达 $34.5\%$ 。

本文采用差分馈电结构，设计了一种宽带微带天线。天线由差分微带天线和宽带 $180^\circ$ 相移功分器两部分组成：差分微带天线采用两根平行探针馈电，通过加空气层和开双十字槽展宽带宽； $180^\circ$ 宽带相移功分器则将单馈端口转换成差分馈电端口。为了便于制造加工，贴片下面铺一层薄介质。由于介质将激励起表面波，会使贴片增益下降，故设计时尽可能减少介质成分[7]。接地板下方也铺一层介质，用于差分馈电网络的设计。天线实物的测试结果验证了设计的正确性。

这种微带天线加工简单、调节方便，不仅扩展了天线的工作带宽，又在带宽内实现了良好的辐射性能，具有交叉极化低、方向图对称且增益稳定等优点，可广泛地应用在卫星通信、船载雷达系统中。

## 2. 天线设计

### 2.1. 天线结构

本文设计的宽带天线结构如图1所示，由辐射贴片、三层介质、接地板和馈电网络组成。给定中心频率 $f=3\text{ GHz}$ ，贴片的宽度 $W$ 和长度 $L$ 可参考单馈微带天线的设计公式[8]得到：

$$W = \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$L = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L \quad (2)$$

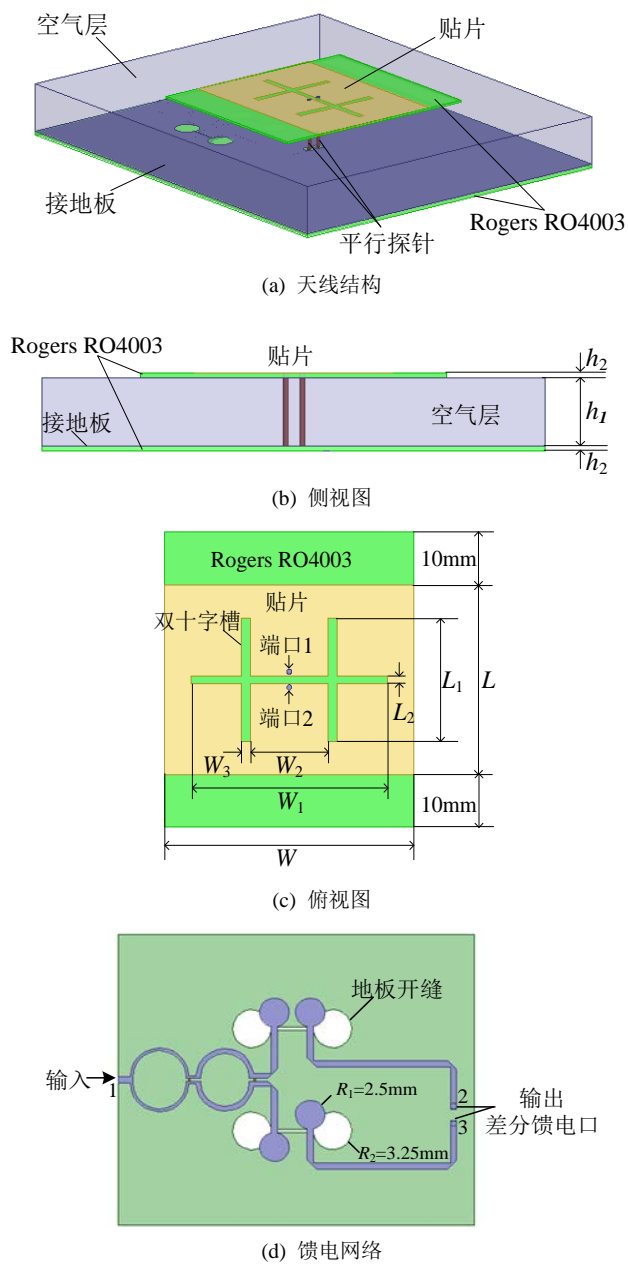


Figure 1. The configuration of antenna

图 1. 天线结构

其中：

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_e + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\varepsilon_e - 0.258)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (4)$$

式中,  $\lambda_0$  为自由空间波长,  $\varepsilon_r$  为介质介电常数,  $h$  是介质厚度,  $\varepsilon_e$  是有效介电常数,  $\Delta L$  是等效辐射缝隙长度。

本文采用  $\varepsilon_{r,1} = 1$  的空气和  $\varepsilon_{r,2} = 3.55$  的陶瓷材料 Rogers RO4003 两种介质。加厚空气层能降低等效电路 Q 值, 展宽微带天线带宽, 但由于空腔模型理论是基于薄微带天线的假设, 当基片厚度  $h$  (即  $h_1 + 2 \times h_2$ ) 和自由空间波长  $\lambda_0$  之比过大时, 将会引起表面波的明显激励, 同时也不能用空腔模型理论进行讨论, 因此应将空气层高度  $h_1$  选为一合适高度。

## 2.2. 差分微带天线及其原理

采用差分馈电结构, 利用两根半径为 0.5 mm, 相距 3 mm 的平行探针对辐射贴片进行馈电, 接地板及以上部分构成差分微带天线。其中两根探针之间存在着电容, 可以补偿长探针带来的较大电感。另外两根探针的电流幅度相等, 流向相反, 产生的辐射相互抵消, 使天线保持了较低的交叉极化。

由于差分馈电的端口具有对称性, 将用于扩展带宽的 U 型槽改为具有对称性的双十字槽(如图 1(c))结构[6]。双十字槽改变了贴片上的表面电流路径, 产生多频谐振, 从而展宽了频带。同时贴片开槽能引入电容, 进一步补偿馈电探针带来的电感。该天线主要通过调节贴片宽度  $W$ 、边槽长度  $W_1$  以及空气层高度  $h_1$  进行调谐, 具体优化后的尺寸见表 1。

差分微带天线两个端口(如图 1(c))同时输入幅度相同且相位相反的信号, 称此信号为奇模信号。各个端口的反射系数  $\Gamma_{odd}$  (称为奇模反射系数)是差分天线的重要参数, 可以用归一化的入射波和反射波来表示, 例如端口 1 的奇模反射系数  $\Gamma_{odd}$  可表示为[9]:

$$\Gamma_{odd} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2 = -a_1} \quad (5)$$

式中的  $a_1$ 、 $a_2$  是两个端口归一化的入射波,  $b_1$  是端口 1 归一化的反射波。

通过  $[S]$  矩阵可以把入射波  $a$  和反射波  $b$  关联起来:

$$[b] = [S][a] \quad (6)$$

$[S]$  矩阵的  $ij$  元给出为

$$S_{ij} = \left. \frac{b_i}{a_j} \right|_{a_k = 0, k \neq j} \quad (7)$$

从而可以用  $S$  参数来表示奇模反射系数  $\Gamma_{odd}$  :

$$\Gamma_{odd} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2 = -a_1} = \left. \frac{S_{11}a_1 + S_{12}a_2}{a_1} \right|_{a_2 = -a_1} = S_{11} - S_{12} \quad (8)$$

Table 1. Basic parameters of the antenna

表 1. 天线基本参数

参数	数值	参数	数值
$W$	45.5	$W_2$	15.5
$L$	35.4	$W_3$	1.7
$h_1$	12.5	$L_1$	22
$h_2$	0.5	$L_2$	1.5
$W_1$	36		

由于两个端口对称，2端口的奇模反射系数与端口1完全一致。

因此在具体仿真中可以利用二端口 $S$ 参数 $S_{11} - S_{12}$ 来分析差分微带天线。图2给出了HFSS仿真的 $\Gamma_{odd}$ 曲线，由于对贴片开了对称的双十字槽来改变电流路径，使得天线产生了双频谐振，又加了厚空气层来降低 $Q$ 值，从而频带得到较大拓展，由图可知 $-10$  dB阻抗带宽达到39.5% (2.44~3.64 GHz)。

### 2.3. 馈电网络设计

馈电网络由宽带Wilkinson功分器和宽带 $180^\circ$ 移相器两部分组成，如图1(d)，实现单馈端口到差分双馈端口的转换。功分器采用二级阶梯阻抗实现宽带性能；移相器则采用微带到接地板开槽的过渡结构[10]，通过反向耦合实现宽带 $180^\circ$ 的移相性能，其中工作频带可以通过改变圆形短截线的半径( $R_1$ 和 $R_2$ )调节，同时圆形短截线的引入能提升带宽。HFSS仿真结果见图3(a)和图3(b)，各个端口的回波损耗带宽内均在 $-15$  dB以下，隔离度良好，传输损耗在 $-3.18\sim-3.3$  dB，输出差分馈电端口的相差稳定在 $180^\circ \pm 0.1^\circ$ 。

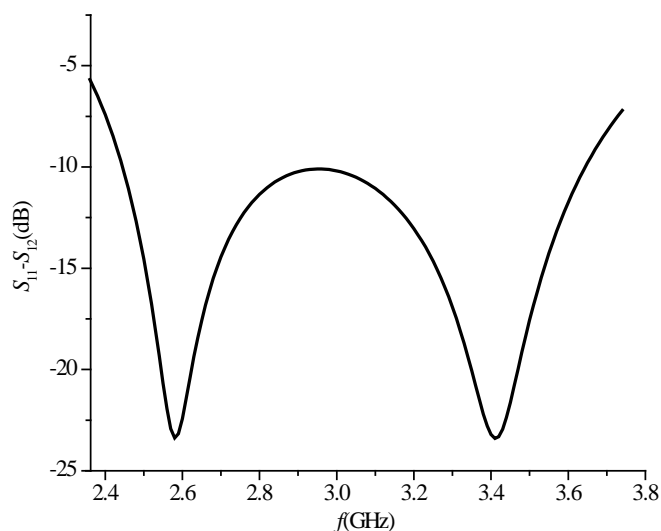


Figure 2. Curve of  $\Gamma_{odd}$

图 2.  $\Gamma_{odd}$  曲线

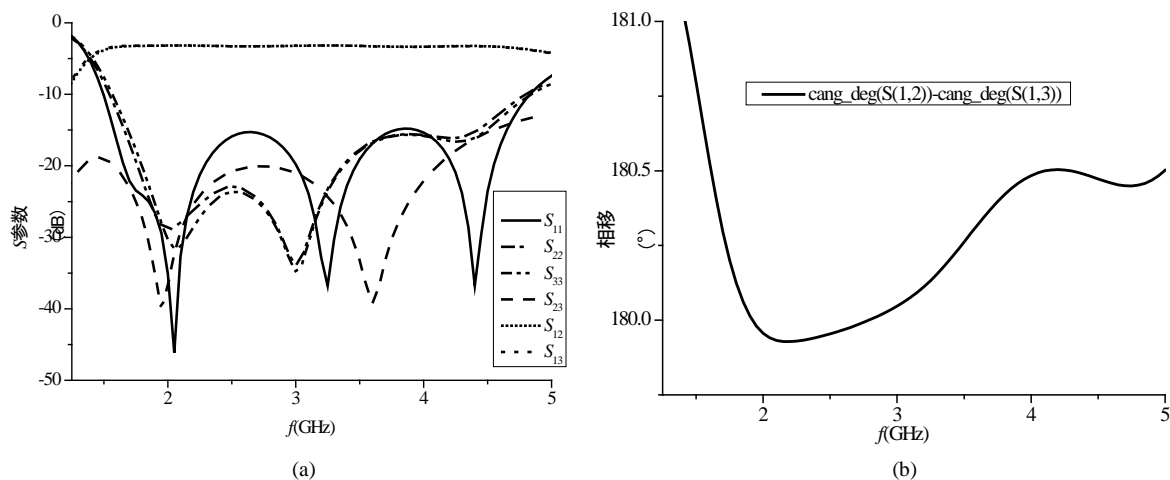


Figure 3. Curve: characteristic of broadband  $180^\circ$ -phase-shift power divider. (a)  $S$  parameters; (b)  $180^\circ$  phase shift

图 3. 宽带  $180^\circ$ 相移功分器特性曲线。(a)  $S$  参数；(b)  $180^\circ$ 相移

### 3. 加工与测试

整体天线加工实物图如图 4 所示。为方便安装，贴片下方的介质两端各向外延伸 10 mm (见图 1(c) 和图 4)，用来固定塑料螺丝和介质棒。整体天线阻抗和增益特性以及方向图的仿真与测试结果见图 5 和图 6。

测试数据表明：天线阻抗带宽约为 33.3% (2.5~3.5 GHz)；带宽内方向图稳定，仿真增益在 8.35~9.74 dB 变化；中心频率(3 GHz)、低频(2.5 GHz)和高频(3.5 GHz)处的 E 面和 H 面归一化方向图与仿真结果一致，且交叉极化很小，在 -20 dB 以下。由此可以看出，天线的实测结果与仿真结果较为吻合。

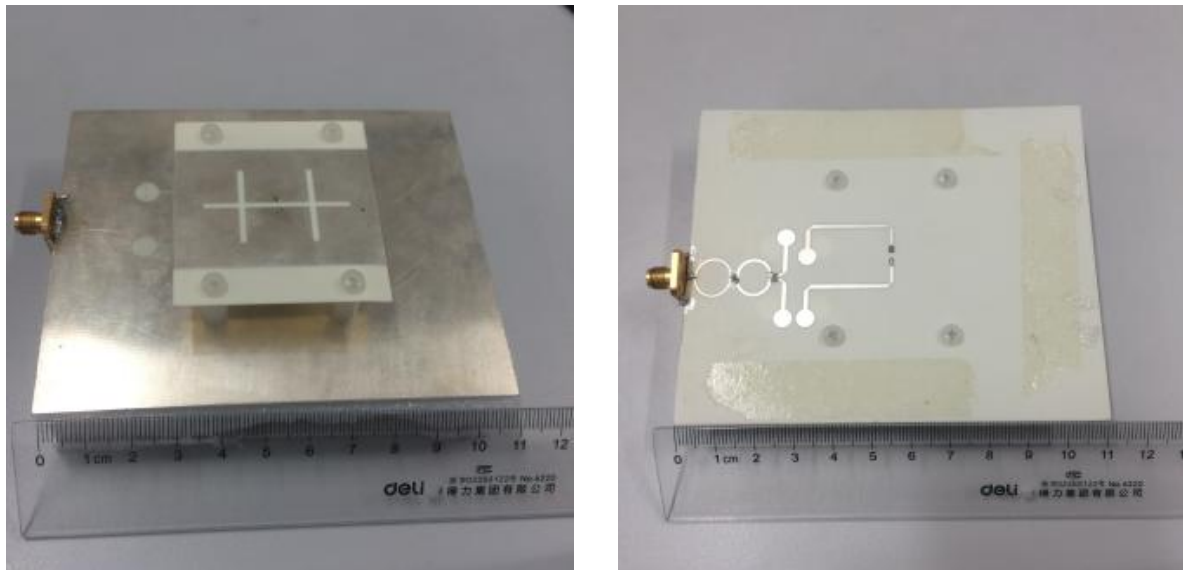


Figure 4. Photo of the fabricated antenna

图 4. 加工天线照片

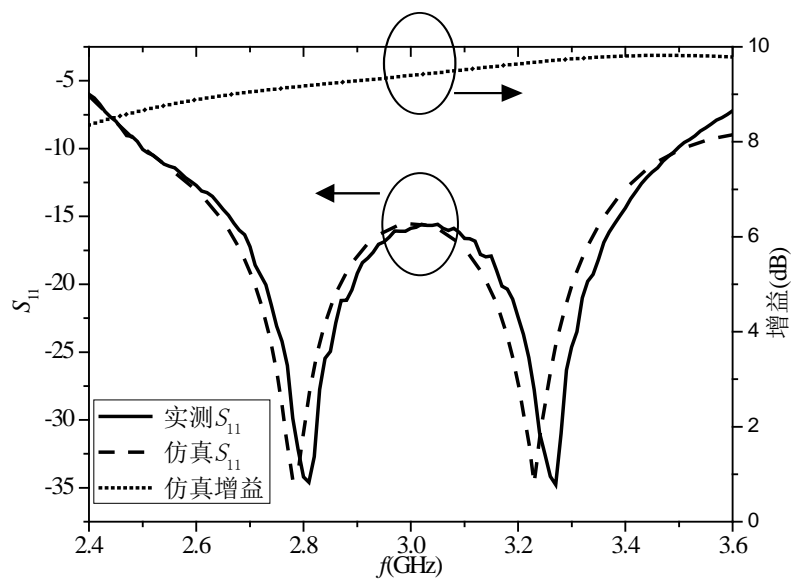


Figure 5. Curve: impedance and gain characteristics of the antenna

图 5. 天线阻抗和增益特性曲线

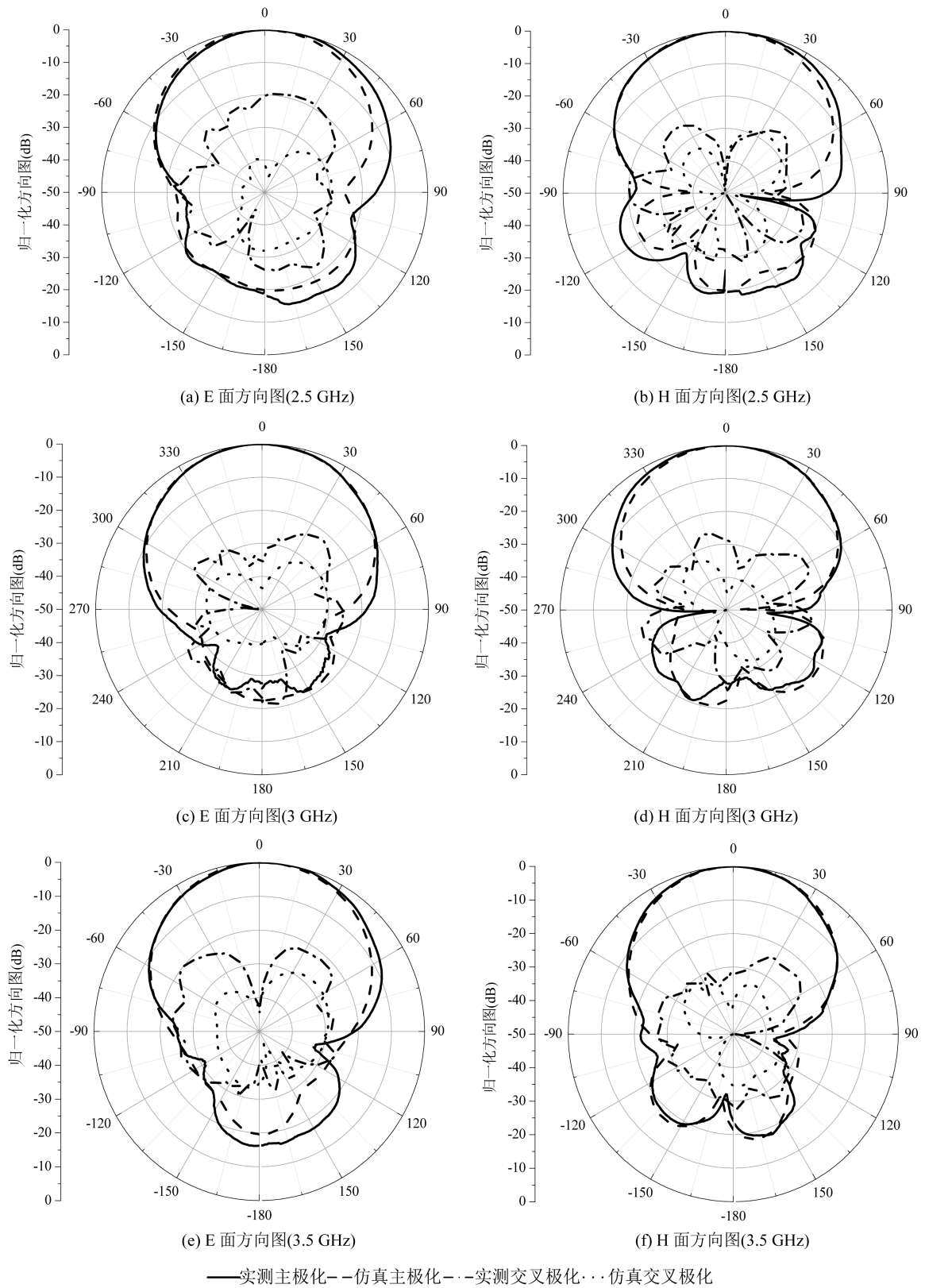


Figure 6. Normalized radiation patterns of antenna  
图 6. 天线归一化方向图

## 4. 结论

本文设计了一种 S 波段宽带微带天线。这种天线不仅能获得较宽的阻抗带宽，而且通过差分结构能得到良好且稳定的方向图。实测得到阻抗带宽约为 33.3%，方向图稳定，交叉极化在 -20 dB 以下。这种天线构造简单，调节方便，具有良好的辐射和带宽性能，适合在通信和雷达系统中应用，能增加系统的工作带宽；同时在 RFID 等领域也有一定的应用前景。

## 资助信息

国家自然科学基金项目(61301018)资助和江苏高校优势学科建设工程资助项目。

## 参考文献 (References)

- [1] 钟顺时. 天线理论与技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2011: 290-296.
- [2] Luk, K.M., Mak, C.L., Chow, Y.L. and Lee, K.F. (1998) Broad Band Microstrip Patch Antenna. *Electronics Letters*, **34**, 1442-1443. <http://dx.doi.org/10.1049/el:19981009>
- [3] Huynh, T. and Lee, K.-F. (1995) Single-Layer Single-Patch Wideband Microstrip Antenna. *Electronics Letters*, **31**, 1310-1312. <http://dx.doi.org/10.1049/el:19950950>
- [4] Deal, W.R., Radisic, V., Qian, Y. and Itoh, T. (1999) Integrated-Antenna Push-Pull Power Amplifiers. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, **47**, 1418-1425. <http://dx.doi.org/10.1109/22.780389>
- [5] Zhang, Y.P. (2007) Design and Experiment on Differentially-Driven Microstrip Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **55**, 2701-2708. <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2007.905832>
- [6] Xue, Q., Zhang, X.-Y. and Chin, C.-H.K. (2006) A Novel Differential-Fed Patch Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **5**, 471-473. <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2006.885168>
- [7] 童芸, 张杰, 李春晓, 关仲辉. 宽带 U 型槽矩形贴片微带天线设计[J]. 微波学报, 2008, 24(4): 41-44.
- [8] Balanis, C.A. (2005) *Antenna Theory: Analysis and Design*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 816-820.
- [9] Chan, K.M., Lee, E., Gardner, P. and Dodgson, T.E. (2007) Differential Aperture Coupling Technique for Passive and Active Integrated Antenna Design. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, **1**, 458-464. <http://dx.doi.org/10.1049/iet-map:20060073>
- [10] Bialkowski, M.E. and Wang, Y.F. (2011) UWB Planar Out-of-Phase Wilkinson Power Divider Utilizing UWB  $\pm 90^\circ$  Phase Shifters in Microstrip-Slot Technology. *Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference*, Melbourne, 5-8 December 2011, 1138-1141.