

# 一种新型超宽带微带天线的辐射和散射特性研究

姜文 龚书喜 刘英

(西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室, 陕西 西安 710071)

**摘要:** 本文提出了一种改进的超宽带微带贴片天线。天线以共面波导方式馈电, 其阻抗带宽在满足  $VSWR < 2.0$  下仿真计算的结果为  $2.5\text{GHz} \sim 20\text{GHz}$ , 天线样机实测结果为  $2.8\text{GHz} \sim 18.7\text{GHz}$ 。对天线的辐射和散射特性做了研究, 并与参考天线作对比, 发现在同样满足超宽带宽的条件下, 本文提出的天线具有良好的 RCS 减缩效果。最后以本文提出的天线为例, 分析了超宽带微带天线的散射特性。

**关键词:** 超宽带, 天线, 雷达散射截面减缩(RCSR)

## Research on Radiation and Scattering Properties of a novel UWB Microstrip Antenna

Jiang Wen, Gong Shu-xi, Liu Ying

(National Lab. of Antennas and Microwave Technology, Xidian Univ., Xi'an, 710071)

**Abstract:** In this paper, an improved microstrip antenna is proposed for ultra wideband communications. The antenna is fed by a coplanar waveguide. The simulated impedance bandwidth ( $VSWR < 2$ ) covers  $2.5\text{GHz} \sim 20\text{GHz}$ , while the measured one does  $2.8\text{GHz} \sim 18.7\text{GHz}$ . Monostatic RCS and UWB characteristics of the antenna are simulated. The result shows that compared to the reference antenna, the proposed antenna has lower RCS and favorable radiation performance. At last, the backscattering characteristics of UWB antennas with different loads are investigated.

**Keywords:** UWB; antennas; radar cross section reduction (RCSR)

## 1 引言

为适应未来的高科技综合电子战, 隐身技术得到了大量的应用, 因此世界上越来越多的国家重视和发展隐身技术。但是对于低可见平台来说, 对其总雷达散射截面 (RCS) 贡献较大的却是平台上的天线, 由于天线系统自身工作特点的限制, 它必须保证自身雷达波的正常接收和发射, 因此常规的隐身措施 (如低 RCS 外形设计、雷达吸波材料技术等) 不可简单地应用于天线隐身中, 这就使天线系统隐身成为隐身技术中难以解决的关键问题。

超宽带雷达系统具有较高的距离分辨率和宽的频谱, 具有精确的目标识别能力, 能获得复杂目标的细微特征, 在反隐身、反导以及目标识别等方面具有广泛的应用价值。但是, 为了提高超宽带雷达

的战场生存率, 就必须对其进行隐身处理。因此, 对超宽带天线散射特性的研究, 以及在保证辐射特性的同时减缩超宽带天线的 RCS 具有重要意义。

天线是一类特殊的散射体, 它的散射通常包括两部分: 一部分是与散射天线负载情况无关的结构模式项散射场, 它是天线接匹配负载时的散射场, 其散射机理与普通散射体的散射机理相同; 另一部分则是随天线的负载情况变化的天线模式项散射场, 它是由于负载与天线不匹配而反射的功率经天线再辐射而产生的散射场, 这是天线作为一个加载散射体而特有的散射场[1-3]。在天线的散射理论研究方面, 利用散射矩阵可推导出天线散射的基本表达式[4]。在此理论研究基础上, 文献[5]提出了一个分析天线散射的模型, 利用该模型可分别得到天线散射的两个分量, 从而解决了天线结构模式项与天线模式项之间相位差难以确定的问题。利用该模型

即可求解各种天线的 RCS 特性，该模型的结论公式如下所示：

$$\overline{\overline{E}}^s(Z_l) = \frac{(1 - \Gamma_a) \overline{\overline{E}}^s(\infty) + (1 + \Gamma_a) \overline{\overline{E}}^s(0)}{2} + \frac{\Gamma_l}{1 - \Gamma_l \Gamma_a} \frac{1 - \Gamma_a^2}{2} [\overline{\overline{E}}^s(\infty) - \overline{\overline{E}}^s(0)]$$

上式中第一项对应天线结构模式项散射场，第二项对应天线模式项散射场，其中， $\overline{\overline{E}}^s(Z_l)$  指接收机端接任意负载时的天线散射电场， $\overline{\overline{E}}^s(\infty)$  指接收机端接开路负载时的天线散射电场， $\overline{\overline{E}}^s(0)$  指接收机端接短路负载时的天线散射电场， $\Gamma_l$  指接收机负载反射系数， $\Gamma_a$  指天线反射系数。

## 2 天线描述

文献[6]中提出了一种用共面波导方式馈电的平面单极子天线，该天线具有良好的阻抗带宽特性和辐射方向图特性，但是这种天线，由于其辐射单元和辐射地板覆盖面积占天线总表面积的比例大，所以总雷达散射截面很大。本文对此天线做了适当的修改，并将其作为参考天线，天线的结构尺寸如图 1 (左) 所示。为了实现天线低 RCS 特性，必须对其进行改进。

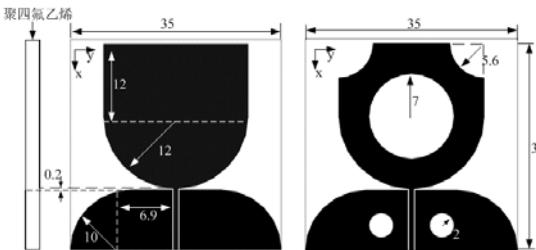


图 1 天线结构图

利用 Ansoft HFSS 仿真软件计算出天线工作时辐射单元上电流的分布，根据电流分布，我们对天线的辐射单元和辐射地板做适当的变形，以达到既能降低天线的表面积又不影响天线的辐射性能的目的。变形后天线结构尺寸如图 1 (右) 所示，辐射单元和辐射地板印制在介质板的同一侧，采用特性阻抗为 50 欧姆的 CPW 馈电，CPW 的带线宽度为 0.8mm，缝隙宽度为 0.2mm；两个四分之一圆的半径为 5.6mm，中间大圆的半径为 7mm，下面两个小圆的半径为 2mm。参考天线和本文提出的天线均印制在厚度  $h=0.8$ mm，介电常数为 4.4 的介质板上。按上述尺寸加工天线样机，实物照片如图 (2)。



图 2 天线实物图 (标尺刻度：毫米)

## 3 天线性能

图 (3) 给出了两天线 VSWR 的仿真结果，结果表明两天线同样具有  $VSWR < 2.0$  条件下 2.5GHz~20GHz 的超宽阻抗带宽特性。图 (4) 为本文提出的天线 VSWR 仿真结果和实测结果，仿真与实测结果吻合良好，证明了仿真计算的准确性，略有差异的主要原因是天线样机加工精度和实际测量环境。

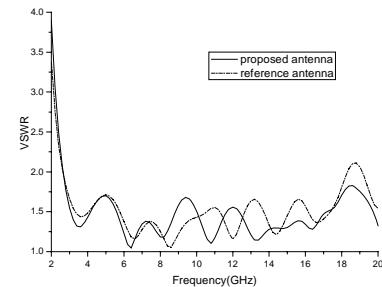


图 3 两天线 VSWR 曲线图

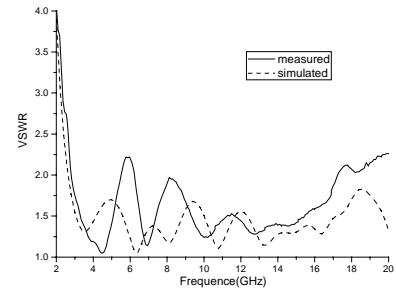


图 4 天线 VSWR 仿真、实测对比曲线图

图 5~8 给出了参考天线 (左) 和本文提出的天线 (右) 工作在 3GHz，8GHz，10GHz，15GHz 频率下， $y-z$  面和  $x-y$  面的增益方向图 (单位: dB)。从图中可看出本文提出的天线与参考天线相比，具

有相似的良好的超宽带方向图特性。

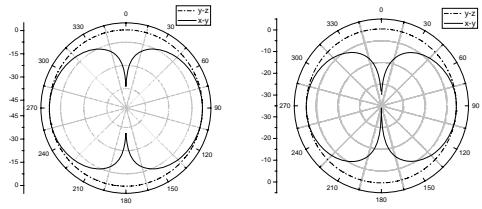


图 5 天线工作在 3GHz

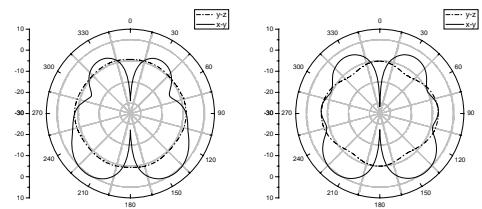


图 6 天线工作在 8GHz

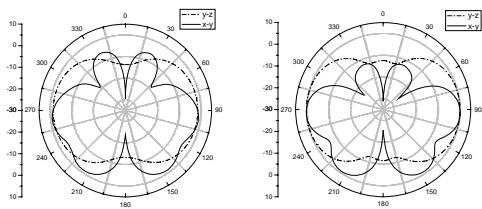


图 7 天线工作在 10GHz

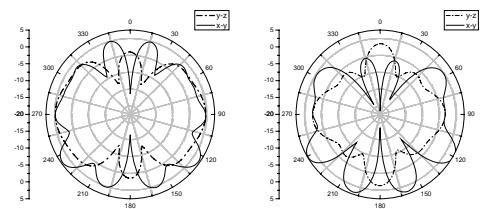


图 8 天线工作在 15GHz

图 9 给出了参考天线与本文提出的天线在 7GHz~20GHz 入射波照射下单站的天线结构项 RCS。从图中可以看出，本文提出的天线在此频带范围内的天线结构项 RCS 均小于参考天线，说明本文提出的天线具有良好的 RCS 减缩效果。本文提到的单站 RCS 均是基于入射和接收电场的极化方式为垂直极化（平行于 x 轴），入射方向为 -z 方向，散射方向为 z 方向的条件。

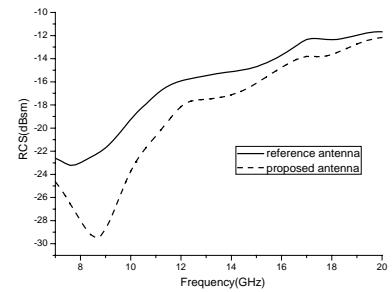


图 9 两天线结构项 RCS 对比曲线图

图 10 给出了本文提出的天线终端接不同负载（匹配负载、开路负载、短路负载）时，在 2GHz~20GHz 入射波照射下的单站天线 RCS。利用这三个模式的 RCS 可容易地计算出天线结构项 RCS、天线模式项 RCS 和天线总 RCS。从计算结果中可以看出，天线端接不同负载时的三条 RCS 曲线，在整个超宽带频带范围内，没有哪一条可以一直保持最大或最小，这点与普通的窄带天线不同。这种现象的主要原因是：与普通天线相比，超宽带天线具有很宽的工作频带，天线结构项散射场和天线模式项散射场之间相位差的动态变化很大。这种现象使得对超宽带天线的 RCS 控制变得更加困难。

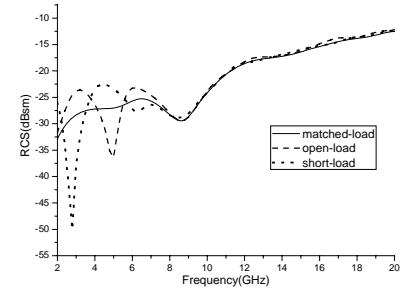


图 10 天线端接不同负载的 RCS 曲线

## 4 结论

本文基于一种参考天线，设计了一种新型的低 RCS 超宽带微带贴片天线。该天线由辐射单元和辐射地板组成，以共面波导方式馈电，具有从 2.5GHz~20GHz 的超宽阻抗带宽和良好的方向图特性。与参考天线相比，本文提出的天线具有更低的雷达散射截面，利于天线系统的隐身。最后以本文提出的天线为例，分析了超宽带微带天线的散射特性。

## 参 考 文 献

- [1] E. F. Knott, J. F. Shaeffer, M. T. Tuley, Radar Cross Section, 2nd ed. Norwood, MA: Artech House, 1993.
- [2] D. M. Pozar, Radiation and scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate, IEEE Trans. Antennas Propag., 1987, 35(6), 613-621.
- [3] S. Hu, H. Chen, C. L. Law, Z. Shen, Backscattering cross section of Ultrawideband antennas, IEEE AWPL, 2007, 6, pp.70-73.
- [4] 刘英, 天线雷达散射截面预估与减缩, 西安电子科技大学, 博士论文, 2004.
- [5] Ying Liu, Shuxi Gong, Demin Fu, A novel model for analyzing for analyzing the RCS of microstrip antenna, in Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp., 2003, 4, 22-27.
- [6] Salman Naeem Khan, Low profile and compact size coplanar UWB antenna working from 2.8GHz to over 40GHz, Microwave and Optical Technology Letters, Vol.51, No.2, Feb 2009.

作者简介:

姜文, 男, 博士生, 主要研究领域为天线工程、天线 RCS 减缩、电磁散射与隐身技术等;

龚书喜, 男, 教授、博士生导师, 主要研究领域为电磁理论、电磁辐射、电磁散射与隐身技术等。

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、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](http://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>