

利用开槽和短路探针加载减缩微带天线 RCS

荣丰梅, 龚书喜, 贺秀莲

(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: 提出利用开槽和加载短路探针等微带天线小型化技术, 降低天线谐振频率, 减小天线尺寸, 抑制天线结构项散射从而实现天线雷达散射截面(RCS)减缩。在微带天线上应用此方法所得的仿真结果表明, 使用该方法后天线工作频带内的 RCS 可降低 4 dB 左右, 而天线的增益下降不到 0.4 dB, 从而保证天线的辐射性能的同时, 明显地减小了工作频带内天线的雷达散射截面。

关键词: 微带天线; 天线雷达散射截面的减缩; 小型化天线

中图分类号: O441 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2006)03-0479-03

Reducing the RCS of the microstrip antenna by cutting slots and loading a shorting-post

RONG Feng-mei, GONG Shu-xi, HE Xiu-lian

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

Abstract: The miniaturization technique of cutting slots and loading a shorting-post in the microstrip patch is used for the radar cross section(RCS) reduction of an antenna. It can reduce the working frequency and overall size of the antenna, which reduces the RCS by restraining structure mode scattering. Simulation results by applying the technique the microstrip antennas show that the RCS can be reduced about 4 dB and the gain loss is less than 0.4 dB, which illustrates that the compact antenna can not only guarantee the antenna radiation performance, but also reduce the RCS of the antenna significantly at its working frequency.

Key Words: microstrip antennas; antenna radar cross section reduction; compact antenna

使天线系统免受电子干扰, 免受敌方雷达的探测和攻击而有效地工作, 不仅关系到天线系统的生命力, 而且影响到其载体的电磁隐身性能, 影响到载体的生存, 因此设计具有低雷达散射截面的天线至关重要。但由于受天线系统自身的工作特点所限, 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不可能在天线隐身中获得应用。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。笔者提出的隐身方法是通过改变天线的外形, 利用小型化的概念来设计天线, 利用小型化本身的独特性能实现天线的雷达散射截面(RCS)减缩。小型化结构用于实现天线 RCS 减缩的同时, 保证了天线的辐射性能, 从而解决了天线辐射和散射相矛盾的问题。

1 小型化技术及天线减缩 RCS 机理

在固定的工作频率上减小微带天线的尺寸是微带天线小型化所要做的工作。在微带天线上加载短路探针^[1~3], 相当于引入电感 $L = (t\mu/\pi) \cosh^{-1}(d/(2a))$ 和电容 $C = (t\pi\epsilon)/\cosh^{-1}(d/(2a))$, 其中 t 为基片的厚度, ϵ 为基片的相对介电常数, μ 为基片的磁导率, d 为短路针之间的距离, a 为短路针的半径。若短路针的电抗呈现

收稿日期: 2005-07-01

基金项目: 国家部委重大预研资助项目(10.2.1.4)

作者简介: 荣丰梅(1979-), 女, 西安电子科技大学硕士研究生。

感性,则天线的谐振频率下降,反之,谐振频率升高。将短路探针替换为低阻抗的切片电阻^[4],在进一步降低谐振频率的同时还可增加带宽。随加载电阻增大,天线品质因素降低,宽带展宽,制造公差降低,但这些性能的提高是以牺牲增益为代价的。若加载 $1\ \Omega$ 切片电阻,增益下降约 $1.5\ \text{dB}$ 。此外,加载切片电容也可有效降低谐振频率,减小天线尺寸,但带宽有所减少。当在贴片表面开不同形式的槽或细缝时^[4,5],切断了原来的表面电流路径,使电流绕槽边曲折流过而使路径变长,在天线等效电路中相当于引入了级联电感。由于槽很窄,它可模拟为在贴片中插入一无限薄的横向磁壁。这类天线的特点是:随槽的长度增加,天线谐振频率降低,天线尺寸减小,但尺寸的过分缩减会引起性能的急剧恶化,其中带宽和增益尤为明显,而方向性影响不大。

天线的散射通常包括两个部分^[6]:一部分是与天线负载无关的结构项散射,它是由入射平面波在天线上的感应电流或位移电流所产生的散射场,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负载情况而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。前者确定了天线的结构散射雷达截面 σ_s ,后者确定了天线的模式散射雷达截面 σ_e ,它们的相对相位叠加构成了天线的总雷达截面^[7,8]:

$$\sigma = |\sigma_s^{1/2} + \sigma_e^{1/2} \exp(j\varphi)|^2, \quad (1)$$

其中 φ 表示两项散射场之间的相对相位差,这是一个受天线结构、馈源和频率影响的参数。由于 φ 的值可从 0 变化到 2π ,天线总的 RCS 变化范围为

$$\sigma_{\min} = |\sigma_s^{1/2} - \sigma_e^{1/2}|^2 \leq \sigma \leq |\sigma_s^{1/2} + \sigma_e^{1/2}|^2 = \sigma_{\max}. \quad (2)$$

通常,要解析确定结构项 σ_s 、模式项 σ_e 和相位差 φ 的值是十分困难的,必须求解一组极端复杂的电磁场边界值问题。工程上大都采用各种近似方法进行估算。天线的结构项雷达截面 σ_s 与天线的型式、结构、材料、尺寸等物理参数有关,也与入射波的频率、极化、方向等参数有关。

微带天线结构项散射场的场源为贴片上的感应电流,电流经过槽时,电流方向会发生改变,槽两边电流产生的散射场相位各异,因而可互相抵消或部分抵消,使其结构项雷达散射截面显著降低;另外,结构项散射与天线的物理参数有关,而天线的小型化技术可减小贴片的尺寸,这样也可减缩结构项散射,从而减小天线的雷达散射截面。

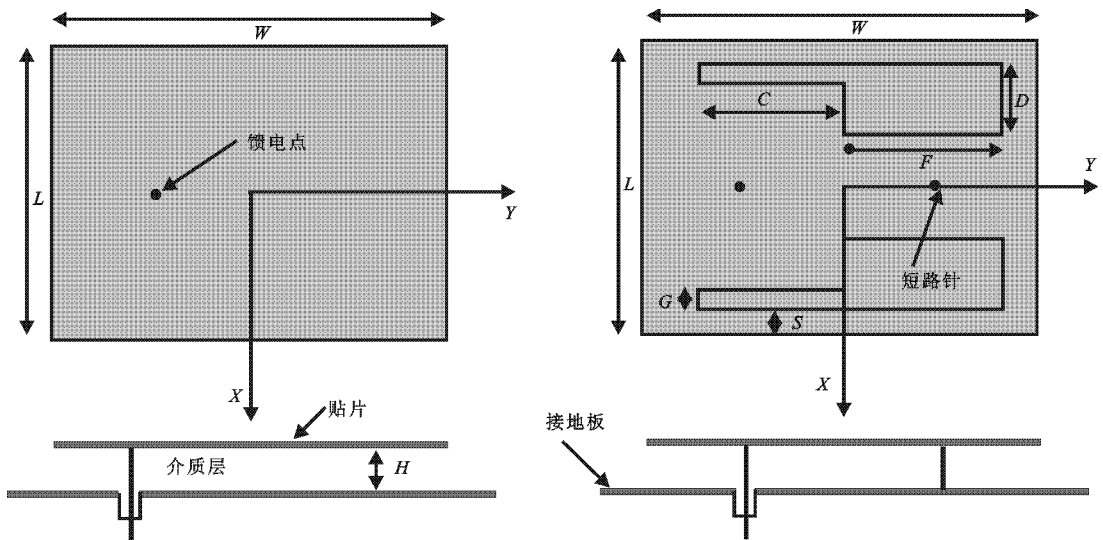


图 1 常规天线与小型化天线结构示意图

2 天线结构和性能

将小型化技术用到微带天线的减缩中,设计了一副具有低 RCS 特性的微带天线。介质厚度 $H = 5\ \text{mm}$,相对介电常数是 2.2 ,短路针位置是 $(0, 4.3\ \text{mm})$,短路针半径是 $0.3\ \text{mm}$,选用同轴线馈电,馈电点位置是 $(0, -7.0\ \text{mm})$,天线谐振频率是 $3.04\ \text{GHz}$,天线具体尺寸如表 1 所示,天线的结构如图 1 所示。同一谐振频率的

常规贴片的尺寸是 $39 \times 30.4 \text{ mm}^2$.

表 1 贴片及槽的尺寸

(mm)

| L | W | C | D | F | G | S |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 36 | 26 | 12 | 10 | 12 | 1 | 1 |

小型化天线增益是 6.27 dBi,参考天线的增益是 6.65 dBi,增益只下降了 0.38 dBi;由图 2 两天线的 S 曲线图可知,小型化天线的驻波比有一定的增加,小型化天线的带宽是 3.95%,参考天线的带宽是 6.41%;由图 3 两种天线谐振频率 3.04 GHz 电场辐射方向图可知,天线小型化后的方向图与参考天线方向图基本一致,由此可知小型化天线也有较好的辐射特性,下面分析一下天线的散射特性.

两天线在激励为 $\theta = 60^\circ, \phi = 90^\circ$ 的 θ 极化平面波入射的单站频域 RCS 比较如图 4 所示,由图可知,在与电流同极化方向的情况下,小型化天线在 2~8 GHz 频带范围内的 RCS 均有所减缩,在天线工作频率 3.04 GHz 处, RCS 减缩了

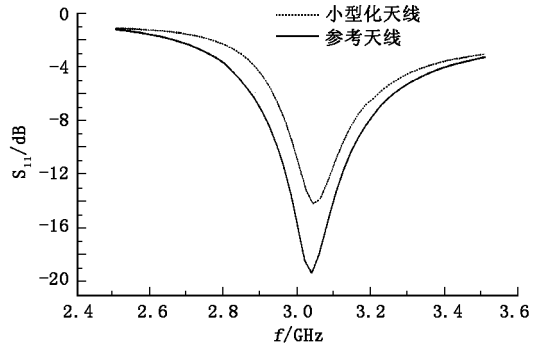


图 2 小型化天线与参考天线的 S 比较

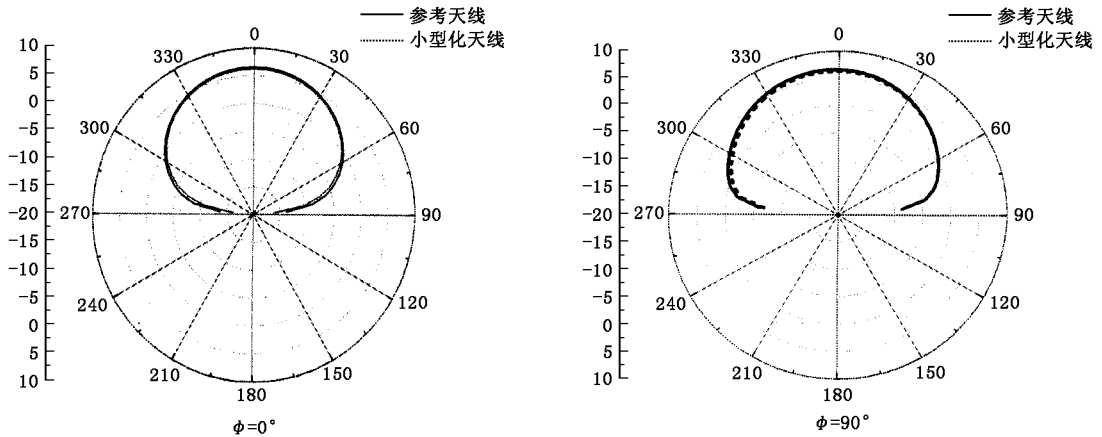


图 3 天线辐射方向图比较

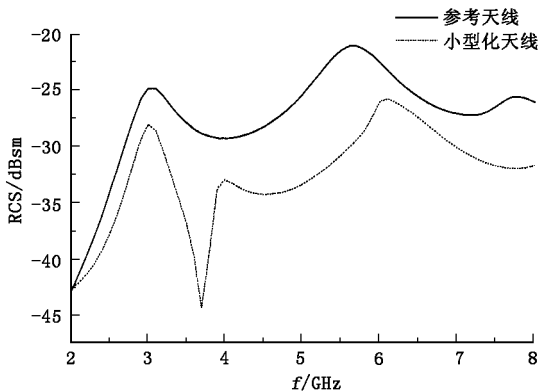


图 4 开槽天线与参考天线的同极化频域 RCS 比较图

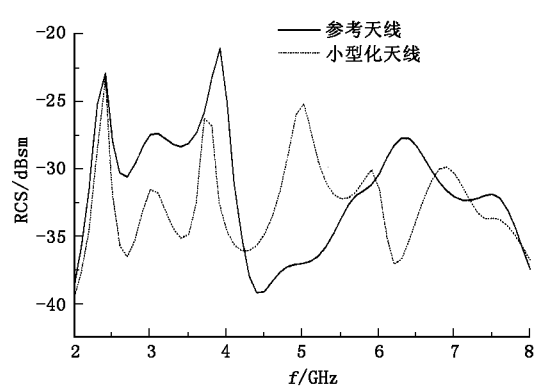


图 5 开槽天线与参考天线的单站频域 RCS 比较图

4 dBsm;在 3.75 GHz 处减缩了 15 dBsm. 两天线在激励为 $\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$ 的 θ 极化平面波入射情况下的单站频域 RCS 比较如图 5 所示. 由图 5 可知,小型化天线在 2.5~4.2 GHz 频率内,即天线工作频带附近,天线的 RCS 可降低 4 dBsm 左右;小型化天线在 5 GHz 处出现了一个峰值,使得在 4.2~6 GHz 范围内 RCS 有所增加,这主要是由于交叉极化引起的,只要使得电流的极化分量与入射电场的极化分量平行,该频段的 RCS 峰值就会消失;另外对于工作频带外的 RCS 减缩,可采用频率选择表面技术来实现.