

一种用于“北斗”卫星导航系统的小型化微带贴片天线

袁航盈, 张介秋

(空军工程大学理学院,陕西西安,710051)

摘要 基于“北斗”天线小型化的考虑,利用高介陶瓷基板($\epsilon_r = 16$)来设计“北斗”卫星导航系统微带贴片天线,该天线采用切角结构,同轴线馈电方式,工作在“北斗”一代的S频段($2\ 492 \pm 5$ MHz,右旋圆极化)。采用Ansoft公司三维电磁仿真软件HFSS进行仿真分析,数值仿真结果表明; $S_{11} < -10$ dB的阻抗带宽为62 MHz,3 dB极化轴比带宽为15 MHz;采用矢量网络分析仪对天线实物进行性能测定,实测结果表明, $S_{11} < -10$ dB的阻抗带宽为66 MHz,3 dB圆极化轴比带宽为12 MHz,仿真结果与测试结果基本吻合,天线性能良好,满足“北斗”接收天线设计要求。该天线在满足北斗接收天线的性能的同时,由于采用高介陶瓷作为基板,使得其与传统天线相比,尺寸缩减了75%,具有一定的应用前景。

关键词 北斗卫星导航系统;微带天线;右旋圆极化;小型化;高介基板

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.05.016

中图分类号 TN82 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)05-0076-04

“北斗”卫星导航系统(BeiDou (COMPASS) Navigation Satellite System, CNSS)是我国自主研发的可与世界其他卫星导航系统兼容共用的^[1]全球卫星定位与通信系统,是继美国全球定位系统(GPS)、俄罗斯GLO-NASS之后,第3个日趋成熟的卫星定位导航系统。它改变了我国长期缺少高精度、实时定位手段的局面,打破了美国和俄罗斯在这一领域的垄断地位。

随着“北斗”卫星导航系统的逐步应用,对“北斗”终端天线的研究也愈加广泛和深入,研制应用于“北斗”卫星定位接收机的小型化、高性能的微带天线^[2-5]也就得到了越来越广泛的重视。在实际应用中,由于北斗天线的工作频率较低,天线辐射贴片长度近似等于电磁波在介质基板中的工作频率的波长的一半,从而使得其尺寸较大,不便于安装和携带,因而北斗天线小型化技术已经成为该领域的研究热点。

为了实现微带天线小型化,一般采用下面几种方法:

- 1)应用加载技术可以使天线尺寸缩小^[6]。
- 2)采用高介电常数的介质板作为微带天线的基板。文献[7]中采用介电常数 $\epsilon_r = 28.2$ 的介质基板比采用介电常数 $\epsilon_r = 3$ 的基板制作的天线在面积上要缩小90%左右。
- 3)利用曲流技术可以有效地降低天线尺寸。
- 4)采用特殊的外形结构也可以实现天线的小型化,如蝶形、E型^[8]、倒F型、倒L型、分形结构天线^[9]等。

基于上述考虑,本文提出了一种切角结构的“北斗”S频段微带贴片天线,该天线采用介电常数为16的陶瓷基板,在满足北斗天线性能的同时,与传统天线^[3]相比尺寸缩减了75%,具有一定的实际应用价值。

收稿日期:2012-04-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61071058);国家重点基础研究发展计划资助项目(2009CB623306);陕西省电子信息系统集成重点实验室基金资助项目(201114Y11)

作者简介:袁航盈(1987-),女,陕西咸阳人,硕士生,主要从事物理电子学研究. E-mail: yhy1872937@126.com

1 天线结构与与设计

本文提出的“北斗”一代接收天线的基本结构如图 1 所示。正方形接地板边长为 a , b 为正方形贴片边长, c 为切角大小, d 为馈电点位置, h 为介质板厚度。为了实现小型化, 天线采用介电常数为 16 的介质基板, 损耗角正切值为 0.001, 介质板厚度为固定值 4 mm。

天线采用切角结构, 单端口背馈方式馈电, 通过改变贴片的尺寸调整中心频点的位置, 通过调节切角的大小和馈电点的位置实现右旋圆极化。

天线辐射贴片长度 b 近似等于电磁波在介质基板中的工作频率的半波长 λ :

$$\lambda = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

式中: c 为真空中光的速度; f 为天线的中心频率^[10]。

根据天线的中心频率及介质板的介电常数, 确定天线的大概尺寸, 通过专业三维电磁仿真软件 Ansoft HFSS 建立模型。经过仿真优化, 得到满足要求的天线的各项尺寸指标, 分别为: $a = 25$ mm, $b = 12.85$ mm, $c = 1.15$ mm, $d = 1.6$ mm, 馈电点距离贴片中心点的位置为 d 。

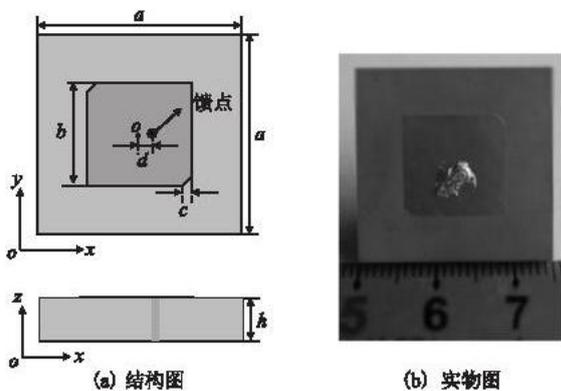


图 1 天线结构示意图

Fig. 1 Geometry of proposed antenna

2 仿真与实验结果与分析

2.1 回波损耗

回波损耗是指在天线的接头处的反射功率与入射功率的比值, 反映了天线的匹配特性。图 2 为天线回波损耗仿真与测试结果对比图, 其中实线为仿真曲线, 虚线为测试曲线。从仿真曲线可以看出, 天线有 2 个谐振点, 分别为 2.484 GHz 和 2.494 GHz; 天线回波损耗小于 -10 dB 的频率范围从 2.459 GHz 到 2.521 GHz, 带宽为 62 MHz, 在频点 2.492 GHz 处的回波损耗为 -39.532 1 dB。从测试曲线可以看出, 天线只有 1 个谐振点, 为 2.510 GHz; 天线回波损耗小于 -10 dB 的频率范围从 2.474 GHz 到 2.540 GHz, 带宽为 66 MHz, 频点 2.492 GHz 包含在此范围内。实测结果与仿真结果相比, 谐振频率升高, 带宽拓宽了 4 MHz, 性能良好, 满足北斗天线设计要求。

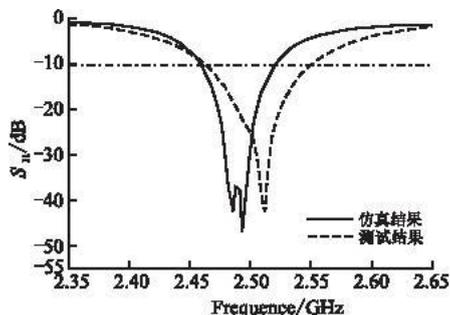


图 2 天线回波损耗曲线

Fig. 2 Simulated and measured reflection coefficient (S_{11})

2.2 极化轴比

北斗天线为圆极化天线, 圆极化性能可由极化轴比来衡量, 一般认为轴比小于 3 dB 则实现了圆极化。图 3 为天线极化轴比的仿真和测试结果图, 其中实线为仿真曲线, 虚线为测试曲线。从仿真曲线可以看出, 天线的极化轴比在 3 dB 以下的频率范围从 2.482 GHz 到 2.497 GHz, 覆盖了北斗的 2.492 GHz 频点, 在频点 2.490 GHz 处的轴比最小, 为 0.498 8 dB, 3 dB 轴比带宽为 15 MHz; 而从测试曲线可以看出天线的极化轴比在 3 dB 以下的频率范围从 2.485 GHz 到 2.497 GHz, 覆盖了北斗的 2.492 GHz 频点, 在频点 2.492 GHz 处的轴比带宽最小, 为 2.347 dB, 3 dB 轴比带宽为 12 MHz。实测结果与仿真结果相比, 轴比最低值虽然增大了 1.848 dB, 但轴比中心频率和带宽基本没有变化, 满足北斗天线设计要求。

图 4 为天线极化轴比与辐射角 θ 的关系图。从图中可以看出, 在频点 2.492 GHz 处, 轴比小于 3 dB 的辐射角 θ 为 -50° 到 40° 。

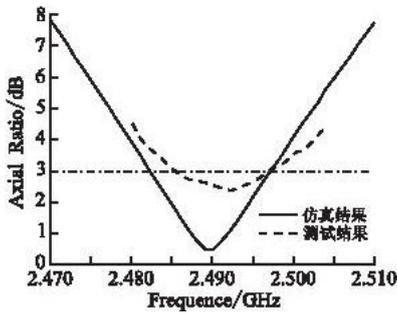


图3 天线极化轴比仿真与测试曲线

Fig. 3 Simulated and measured axial ratio (AR) value

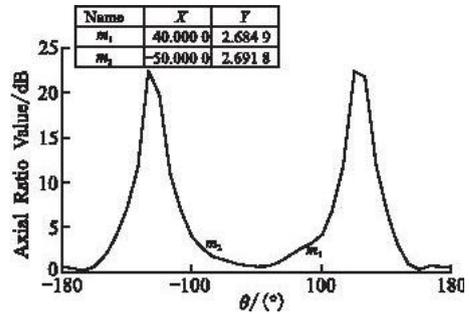


图4 极化轴比与辐射角度关系

Fig. 4 Simulated axial ratio against radiation angle

2.3 增益

天线E面和H面增益仿真曲线如图5所示,其中实线为天线E面增益图,虚线为天线H面方向图。从图中可以看出,天线主方向最大增益为3.485 3 dB,天线后向辐射较大,为1.939 2 dB,这是由于天线尺寸较小所造成的。

图6为天线在E面和H面上圆极化增益图,其中(a)为右旋圆极化增益图,(b)为左旋圆极化增益图。从图中可以看出,该天线的右旋圆极化增益最大值远大于左旋圆极化增益最大值,这表明该天线实现了右旋圆极化,达到了北斗接收天线极化设计要求。

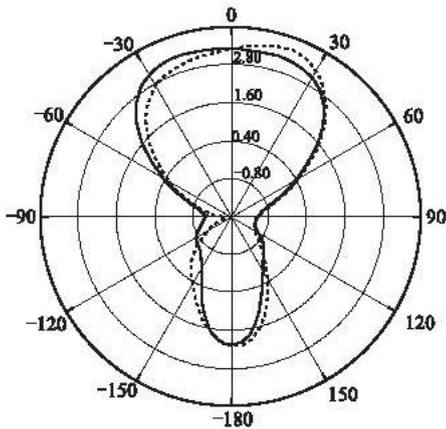


图5 天线E面和H面增益

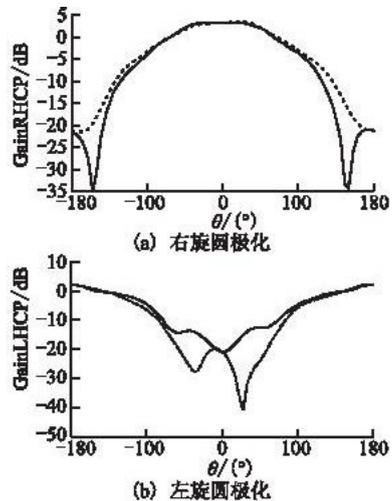
Fig. 5 Elevation gain patterns of the antenna at $\phi = 0^\circ$ and $\phi = 90^\circ$ 

图6 天线在E面和H面上极化增益

Fig. 6 Circularly polarized elevation gain patterns

图7为天线工作在2.492 GHz时的归一化辐射方向图,其中实线为仿真曲线,虚线为实测曲线。仿真结果和测试结果虽然略有差别,但整体趋势一致,这主要是由于测试系统的损耗造成的。

3 结束语

本文提出了一种应用于“北斗”卫星导航系统的小型化微带贴片天线,该天线工作于“北斗”一代S频段,右旋圆极化,采用高介电常数的陶瓷基板来实现小型化。仿真结果表明,天线的 $S_{11} < -10$ dB阻抗带宽为62 MHz,轴比带宽为15 MHz,关键指标可以满足实际要求;实际测试中, $S_{11} < -10$ dB的阻抗带宽为66 MHz,3 dB圆极化轴比带宽为12 MHz,与仿真结果基本吻合,天线性能良好,具有很好的应用前景,可作为接收天线应用于“北斗”卫星导航系统。

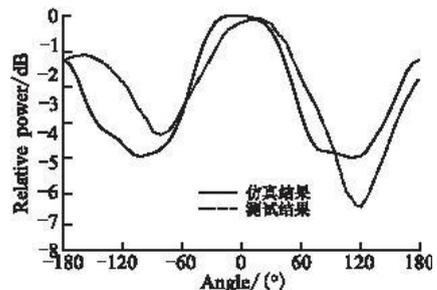


图7 天线辐射方向

Fig. 7 Simulated and measured radiation pattern of proposed antenna

参考文献(References):

- [1] 谭述森. 北斗卫星导航系统的发展与思考[J]. 宇航学报,2008,29(2):391-396.
TAN Shusen. Development and thought of compass navigation satellite system[J]. Journal of astronautics,2008,29(2):391-396. (in Chinese)
- [2] Wu S Q, Liu S B, Guo Z. Coaxial probe-fed circularly polarized microstrip antenna for Beidou RDSS applications [C]//IC-MMT proceedings. [S. l.]:IEEE press, 2010;297-299.
- [3] Tian X Q, Liu S B, Wei Y S, et al. Circularly polarized microstrip antenna with slots for Beidou (COMPASS) navigation system [C]//ISSSE proceeding. [S. l.]:IEEE press, 2010.
- [4] Li B, Guan Y T, Jiang Y S, et al. Compact dual band and circularly polarized microstrip antenna for CNSS [C]//Cross strait quad-regional radio science and wireless technology conference. [S. l.]:IEEE press, 2011;401-403.
- [5] Liao W, Chu Q X, Du S. Tri-band circularly polarized stacked microstrip antenna for GPS and CNSS applications [C]//IC-MMT proceedings. [S. l.]:IEEE press, 2010;252-255.
- [6] Pan S C, Wong K L. Design of dual-frequency microstrip antennas using a shorting-pin loading[C]//IEEE international symposium. [S. l.]:IEEE press, 1998.
- [7] Kim-Lu Wong. Planar antenna for wireless communication [M]. New York: John wiley & sons,2000.
- [8] Ban-Leong Ooi, Shen Qin, Mook-Seng Leong. Novel design of broad-band stacked patch antenna[J]. IEEE transactions on antennas and propagation,2002,50(10):1391-1395.
- [9] Hwang Kuem C. A modified sierpinski fractal antenna for multiband application[J]. IEEE antennas and wireless propagation letters,2007(6):357-360.
- [10] 张钧. 微带天线理论与工程[M]. 北京:国防工业出版社,1988.
ZHANG Jun. Microstrip antenna theory and engineering[M]. Beijing:National defense industry press,1988. (in Chinese)

(编辑:徐楠楠)

A Miniaturized Micro-strip Antenna for Beidou (Compass) Navigation Satellite System (CNSS)

YUAN Hang-ying, ZHANG Jie-qi

(School of Science, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: In view of miniaturization considerations, in this paper, we present a miniaturized CNSS micro-strip antenna based on high permittivity (permittivity is 16) ceramic substrate. This antenna works at S Band (2492 ± 5 MHz, right-handed circularly polarization). Numerical results show that impedance bandwidth ($S_{11} < -10$ dB) and 3 dB axial ratio bandwidth are about 62 MHz, 15 MHz, and the measured results show that impedance bandwidth ($S_{11} < -10$ dB) and 3 dB axial ratio bandwidth are about 66 MHz, 12 MHz, respectively. The measured results fit well with the simulation results obtained from HFSS. This antenna can fully meet the requirement of CNSS. In addition, by using high permittivity ceramic as the substrate, the antenna has the same performances but its scale is reduced to 75% compared with the traditional ones. Such advantages make it proper to practical applications.

Key words: CNSS; micro-strip patch antenna; right-hand circularly polarized; miniaturization; high permittivity substrate