

Ku 波段新型左手材料平面天线罩

吴微微¹, 黄敬健¹, 胡俊伟², 袁乃昌¹

(1. 国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 410073; 2. 总装备部武汉军事代表局武器处, 武汉 430022)

摘 要: 利用新型的平面左手材料做天线罩, 获得窄的天线波束。首先对所需频段内的左手材料的性能进行研究。并制作出几块左手材料平面天线罩。将左手材料平面天线罩和阿基米德螺旋天线结合起来进行研究测试, 探讨加入天线罩后天线方向图的变化。实验证明加入左手材料平面天线罩后, 天线的波束得到汇聚, 同时增益提高了 5dB 左右。

关键词: 左手材料; 天线罩; 阿基米德平面螺旋天线

中图分类号: TN820.8⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-1328(2009)05-1953-04

DOI: 10.3873/j.issn.1000-1328.2009.05.035

0 引言

雷达天线的主要目的是精确确定目标的方向角。为实现此目的, 雷达天线需要具有高度定向的窄波束。普通的介质板天线罩往往会因为热损耗和反射损耗等因素使天线的辐射方向图变差, 降低天线的性能。

自 1967 年^[1]以来, 同时拥有负电导率和负磁导率的左手材料成为研究热点^[2-4], 并在微波和毫米波波段的电路^[5-7]和天线^[8-9]中得到了应用。本文进一步研究左手材料作为天线罩的性能。阿基米德平面螺旋天线^[10-11]具有宽频带和宽波束的辐射性能, 即在较宽的频带内有良好的阻抗特性、辐射特性、增益特性和圆极化特性, 并且它能辐射出一个宽的圆极化波束。因此它可以用来研究左手材料平面天线罩在一定频段内的聚束作用。首先, 四个相同的左手材料平面天线罩被制作出来。在 Ku 波段内, 不加天线罩的阿基米德螺旋天线的方向图和加天线罩的天线方向图都被测量出来。在测量加天线罩的天线方向图时, 分别测量了不同条件下的天线方向图。测试结果表明左手材料平面天线罩能使天线的波束汇聚, 提高天线的增益。

1 左手材料平面天线罩的性能研究

左手材料是由电容加载的金属条 (CLSs) 和金

属开口谐振环 (SRRs)^[12]构成的。为减小 CLSs 和 SRRs 之间的耦合, 本文中采用将 CLSs 和 SRRs 分别蚀刻在介电常数为 2.65 的基板的上下两面的方式。如图 1 所示:

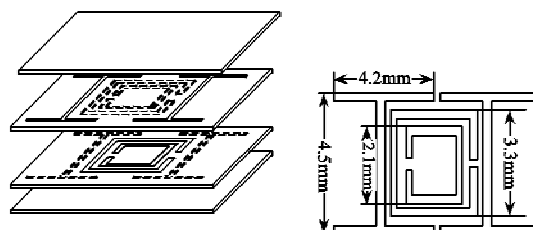


图 1 左手材料结构示意图

Fig. 1 Structure sketch of left-hand material

两相邻 CLSs 之间的缝隙和 SRRs 的开口缝隙宽度为 0.3mm; 所有线宽为 0.3mm; 单个 CLS 的长度为 4.5mm; CLS 两头的电容性金属条的长度为 4.2mm; 大 SRR 的长度为 3.3mm; 小 SRR 的长度为 2.1mm。将该结构放入电壁-磁壁波导^[12]中, 通过高频仿真软件 CST 对该结构进行仿真得到 S 参数。在 Ku 波段中, 仿真出的 S 参数的幅度和相位如图 2 所示。

根据文献[12]中的公式, 通过 MATLAB 编程计算得到材料的导电率、导磁率和折射率。图 3 所示为材料在 Ku 波段内的导电率、导磁率和折射率的实部。

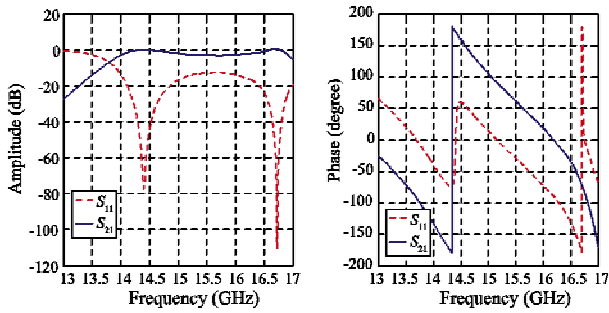


图 2 (1) S 参数的幅度 (2) S 参数的相位

Fig.2 (1) Amplitude of parameter S (2) Phase of parameter S

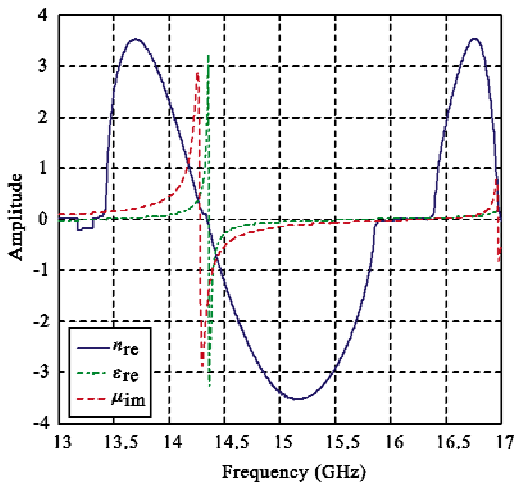


图 3 材料的导电率、导磁率和折射率的实部

Fig.3 The real part of material's conductivity, permeability and refractive index

从图 3 中可以看到,从 14.3GHz 到 16.1GHz,材料折射率的实部为负值,显示出左手材料的性质。当在 15.2GHz 时,折射率的实部达到最小值 -3.5。由此可以展开左手材料平面天线罩的研究。

2 左手材料平面天线罩的研究

图 4 为阿基米德螺旋天线与四个相同的左手材料平面天线罩(80mm × 80mm)的示意图。其中所用的左手材料平面天线罩的个数为 n 。螺旋天线与离它最近的天线罩之间的距离为 d_1 。两相邻天线罩之间的距离为 d_2 。当条件不同时,即 n 或 d_1 或 d_2 取不同值时,对天线的方向图进行研究。首先,设 $d_1 = 10\text{mm}$, $d_2 = 10\text{mm}$,研究 n 值变化时的方向图。

图中,“ $n = 0$ ”的曲线代表没有天线罩时天线的方向图,其增益为 -2.6dB。当 $n = 3$ 时,天线的波束最窄,增益最高,为 2.6dB,比无天线罩时高

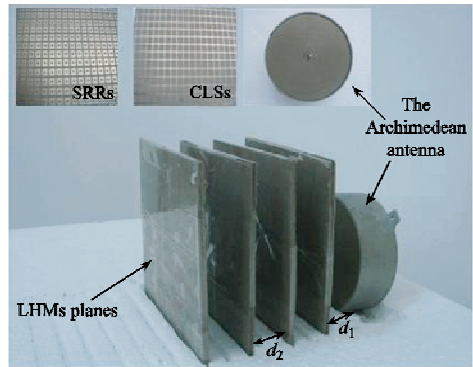


图 4 阿基米德螺旋天线与左手材料平面天线罩

Fig.4 Archimedean planar spiral antenna and left-handed material planar radome

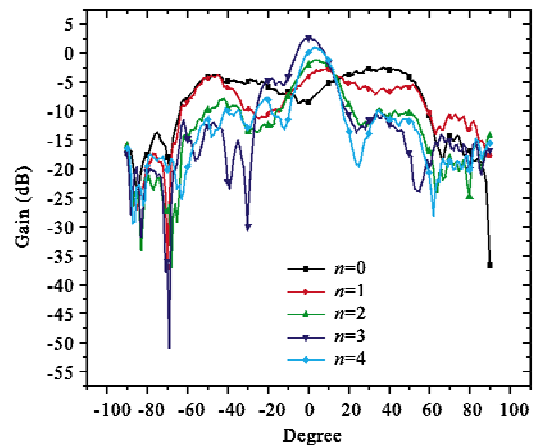


图 5 阿基米德螺旋天线的方向图(n 值不同)

Fig.5 Pattern of archimedean planar spiral antenna (different n)

5dB 左右。因此设定 $n = 3$,保持 $d_2 = 10\text{mm}$ 不变,研究 d_1 变化时天线方向图的变化,如图 6 所示。

从图 6 可以看出,当三块左手材料平面天线罩放于阿基米德螺旋天线之前,并且天线与离天线最近的天线罩之间的距离为 10mm 时,天线能得到最大的增益,波束能够得到很好的汇聚。当 $d_1 = 20\text{mm}$ 或 $d_1 = 30\text{mm}$ 时,天线的主波束不能得到较好的汇聚。

当 n 值和 d_1 得到优化后,对 d_2 变化时的天线方向图进行研究。

由上图可以看出,当 $n = 3$, $d_1 = 10\text{mm}$ 及各个天线罩之间的距离为 $d_2 = 10\text{mm}$ 时,天线主波束的增益最高。当 $d_2 = 20\text{mm}$ 时,天线罩能使波束汇聚,但增益没有明显提高。当 $d_2 = 30\text{mm}$ 时,天线罩没

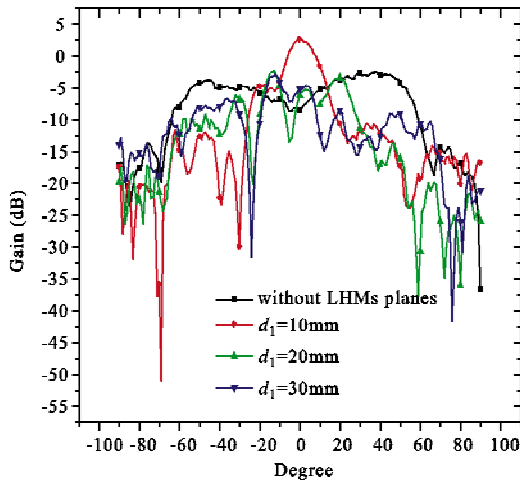


图 6 阿基米德螺旋天线的方向图 (d_1 值不同)

Fig. 6 Pattern of archimedean planar spiral antenna (different d_1)

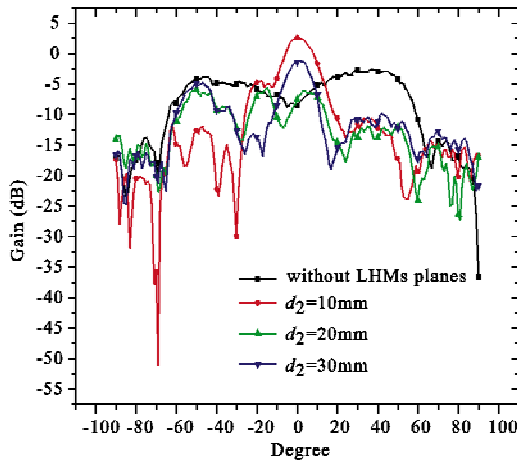


图 7 阿基米德螺旋天线的方向图 (d_2 值不同)

Fig. 7 Pattern of archimedean planar spiral antenna (different d_2)

有汇聚波束的作用。

当优化好天线罩与天线的各项参数后,进一步研究在不同频率下的天线方向图。如图 3 所示,当 $f = 13.6\text{GHz}$ 和 $f = 16.7\text{GHz}$ 时,左手材料的折射率为正值,且达到波峰位置。当频率从 $f = 14.3\text{GHz}$ 到 $f = 16.1\text{GHz}$ 时,左手材料的折射率为负值,在 $f = 15.2\text{GHz}$ 达到最小值点。利用上面所研究的结果,得到天线在不同频率值下的方向图。

从图中可以看到,其中“ $15.2\text{GHz} (*)$ ”的曲线代表在 $f = 15.2\text{GHz}$,没有天线罩时的天线方向图。当左手材料的折射率为正值,即 $f = 13.6\text{GHz}$ 和 $f =$

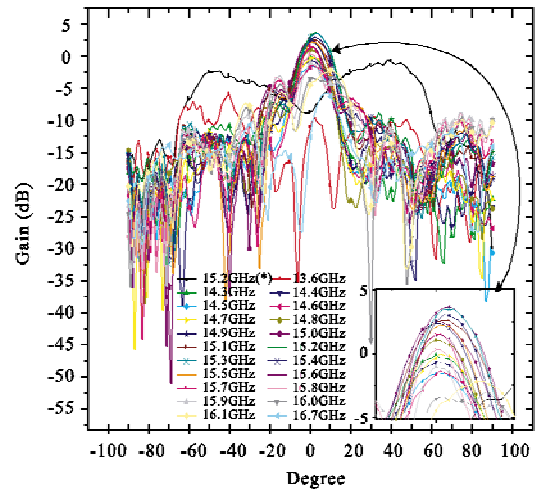


图 8 不同频率下的天线方向图

Fig. 8 Antenna pattern with different frequency

16.7GHz 时,左手材料平面天线罩没有聚束作用,天线的增益小于不加天线罩时的天线增益。当加上天线罩后,在整个折射率为负值的频率范围内,天线罩都能使天线的波束汇聚。但在 $f = 15.2\text{GHz}$ 时,天线获得最高的增益,比不加天线罩的天线增益高出 5dB 左右。由此可见,通过计算左手材料的折射率,就能得到左手材料平面天线罩提高天线增益,汇聚波束的频率范围。

从上面的研究看出,当左手材料工作在负折射率的频段时,能将它用作天线罩。通过优化天线罩和天线的各项参数,能得到最高的增益和最佳的聚束效果。

3 结论

本文设计了一种新型的左手材料平面天线罩。通过仿真后的 S 参数值计算得到其导电率、导磁率和折射率。在 Ku 波段,加左手材料平面天线罩的阿基米德平面螺旋天线的性能得到了研究。当左手材料的折射率为负值时,左手材料天线罩能使天线的波束得到汇聚,增益得到提高。经过优化后,在 Ku 波段,左手材料天线罩能使阿基米德平面螺旋天线的增益提高 5dB 左右。

参考文献:

[1] Veselago V G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ [J]. Soviet Phys. Uspekhi, 10 (4): 509 - 514.

[2] Smith D R, Padilla W J, Vier D C, Nemat-Nasser S C and

- Schultz S. Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2000, 84(18): 4184–4187.
- [3] Shelby R A, Smith D R and Schultz S. Experimental verification of a negative index refraction[J]. *Science*, 2001, 292: 77–79.
- [4] Veselago V G. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ [J]. *Soviet Physics Uspekhi*, January-February, 1968, 10(4): 509–514.
- [5] Lai A, Caloz C, Itoh T. Composite right/left-handed transmission line metamaterials[J]. *IEEE Microwave Magazine*, 2004, 5(3): 34–50.
- [6] Mata-Contreras J, Martín-Guerrero T M, Camacho-Penalosa C. Distributed amplifiers with composite left/right-handed transmission lines[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2006, 48(3): 609–613.
- [7] Mata-Contreras J, Martín-Guerrero T M, Camacho-Penalosa C. Assessment of a composite right/left-handed transmission line-based distributed amplifier implemented in microstrip technology [C]. *Proceedings of the 36th European Microwave Conference*, 2006: 1586–1589 (Manchester UK).
- [8] Erentok A, Luljak P L, Ziolkowski R W. Characterization of a volumetric metamaterial realization of an artificial magnetic conductor for antenna applications[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2005, 53(1): 160–172.
- [9] Saenz E, Gonzalo R, Ederra I and De Maagt P. High efficient dipole antennas by using left-handed superstrates[C]. *13th Int. Symp. On Antennas JINA*, 2004.
- [10] Wertz P C. Analysis, Design and Fabrication of Archimedean Spiral Antennas, Thesis, The Bradley Department of Electrical Engineering, Virginia Tech., Blacksburg Va., 1988.
- [11] Julius A Kaiser. The Archimedean Two-Wire Spiral Antenna [J]. *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-8, 1960: 312–323.
- [12] Ziolkowski R W. Design, fabrication, and testing of double negative metamaterials[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2003, 51(7): 1516–1529.

作者简介:吴微微(1981–),女,博士研究生,研究方向为射频/微波天线的研制,左手材料的研究,微波电路。
通信地址:湖南长沙国防科技大学电子科学与工程学院一系微波技术发展中心(410073)
电话:13786186175
E-mail:weiweiw1130@163.com

A Novel Ku-Band Left-Handed Material Planar Radome

WU Wei-wei¹, HUANG Jing-jian¹, HU Jun-wei², YUAN Nai-chang¹

(1. School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Wuhan Military Delegate Bureau, PLA General Armament Department, Wuhan 430022, China)

Abstract: In this paper, to obtain narrower beam of an antenna, a novel left-handed material planar radome is developed. The characteristics of the left-handed material planar radome are studied at the beginning. Several left-handed materials planar radomes are machined. Then, the radiation patterns of the Archimedean planar spiral antenna with these radomes are measured. The experiments verify that the beam of the antenna is focused by using these novel radomes and the gain of the antenna is raised more than 5 dB.

Key words: left-handed material; Antenna radome; Archimedean planar spiral antenna