

• 天馈系统 •

中图分类号: TN82

文献标志码: A

文章编号: 1004-7859(2011)02-0058-04

具有双陷波特性的超宽带平面天线设计

刘起坤¹, 周 波², 豆栋梁¹, 邢 锋¹

(1. 信息工程大学信息工程学院, 郑州 450002)

(2. 解放军 63892 部队, 河南 洛阳 471003)

摘要:设计了一种带有 2 个陷波频段的超宽带天线。天线的缝隙和馈电枝节采用相反的梯形结构,以实现较好的阻抗匹配。通过在宽缝隙中增加 2 个线形枝节和 1 个“E”形结构,使得天线在 3.0 GHz ~ 3.9 GHz 和 5 GHz ~ 6 GHz 2 个频段内出现频率阻断。根据天线的阻抗曲线,给出等效谐振电路并对陷波产生的原理进行了分析。最后对天线的远场辐射特性进行分析和阐述,测试结果良好,达到了陷波超宽带天线频率阻断的效果。

关键词:超宽带天线; 双陷波; 阻抗曲线; 全向性

Design of Planar Ultra-wideband Antenna with Dual Band-notched Characteristics

LIU Qi-kun¹, ZHOU Bo², DOU Dong-liang¹, XING Feng¹

(1. Institute of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

(2. The Unit 63892 of PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: A planar ultra-wideband antenna with dual band-notched characteristics is proposed. Using a broad trapeziform slot at the bottom of radiating patch and an inversed trapeziform shaped feeded metal stub, good impedance match can be achieved. Introducing two linear shape and one E-shaped metal stubs in the broad slot, dual band-notched characteristics can be created within the frequency range between 3.0 GHz ~ 3.9 GHz and 5 GHz ~ 6 GHz. The equivalent electrocircuit can be drawn according to the impedance curve, analysis of the cause of band rejection. The farfield radiating characteristics is analized in the end. The measured results shows a well meet to the initial design.

Key words: ultra-wideband antenna; dual bands rejection; impedance curve; omnidirectional

0 引言

高速率无线通信需求的不断增加,带来了许多新技术的出现。在这些技术中,超宽带(Ultrawideband, UWB)技术因为发射功率低、传输速率高和抗多径干扰等优点受到越来越多的关注^[1]。超宽带技术最初用于军事雷达和定位设备中,2002 年 2 月,美国联邦通信委员会(FCC)批准将 3.1 GHz ~ 10.6 GHz 频段作为室内通信的超宽带频段。超宽带的工作频段很宽,其中包含了全球微波互联网络(WiMAX)3.3 GHz ~ 3.6 GHz 频段和无线局域网(WLAN)5.15 GHz ~ 5.825 GHz 等频段,它们之间的干扰问题一直是超宽带天线的一个研究热点。为了解决这种干扰,一种简单有效的方法是在超宽带天线中加入特定的缝隙或枝节,在易干扰的频段处造成较大的反射系数,产生陷波频段来抑制干扰^[2]。

文献[3~5]中介绍了在单极子天线结构上加入缝隙结构产生陷波,文献[6]中介绍了在分形宽缝隙天线中加入枝节结构实现陷波特性,陷波频段均为 5 GHz ~ 6 GHz。现有的陷波超宽带天线一般只有一个陷波频段,多个陷波频段的天线涉及较少。文献[7]中介绍了一种在单极子天线辐射贴片中引入 2 个枝节,可以分别在中心频率 3.5 GHz 和 5.6 GHz 处实现陷波特性。陷波频段处天线的增益很低,可以很好的实现干扰抑制。

本文设计的双陷波超宽带天线以宽缝隙结构为基础,在天线中加入 2 个特定的枝节,分别在 3 GHz ~ 3.9 GHz 和 5 GHz ~ 6 GHz 频段处实现陷波特性。给出等效电路对天线陷波的原理进行分析,并参考天线表面电流密度的变化,验证陷波频段的存在。

1 天线的结构设计

天线整体尺寸为 40 mm × 35 mm × 1 mm, 基质材

料选用聚四氟乙烯,介电常数为2.2。天线的结构及尺寸参数,如图1所示。在宽缝隙中增加了2个特殊的枝节结构,每个枝节的总长度近似为半个谐振波长。枝节1由2个短枝节构成,在中心频率3.5 GHz处形成陷波频段;枝节2为“E”型结构,对应陷波频段的中心频率为5.6 GHz。天线背面为带有阶梯的梯形枝节,便于在很宽的范围内实现阻抗匹配。

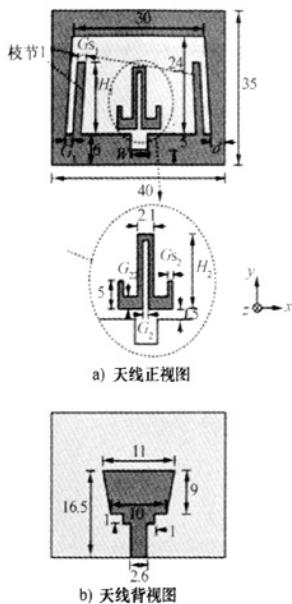


图1 天线尺寸结构图

天线中2个枝节相互独立,可以只加一个枝节在相应的频段处产生陷波。枝节的尺寸为关键结构,其尺寸参数见表1。 G_{s1} 和 G_{s2} 的宽度决定了陷波频段的宽度,值增大时,陷波频段的宽度增加;反之减小。 G_{22} 尺寸比 G_2 的尺寸略大,避免引入陷波结构后天线的阻抗失配问题。

表1 天线结构中的关键参数 mm

L_1	L_2	G_{s1}	G_{s2}	G_1	G_2	G_{22}	W
17.0	14.0	1.5	0.7	1.0	0.7	1.0	2.6

天线端口处的阻抗设计为 50Ω 。根据下面计算式^[8]可以得出馈电端口的宽度 W 和枝节1或2的总长度 L

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e}} \left[\frac{1}{W/h + 1.393 + 0.667\ln(W/h + 1.444)} \right] \quad (1)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

$$L = \frac{c}{2f_b \sqrt{\epsilon_e}} \quad (3)$$

式中: h 为介质板的厚度;此处取值为1; c 为自由空间中的光速; f_b 为陷波处的频率; ϵ_e 为等效介电常数。

2 陷波特性分析

为了验证陷波特性的存在,采用电磁场仿真软件CST对天线表面电流密度进行计算,选取陷波频段和通带内的频率点,观察电流密度变化。以3.5 GHz(驻波)和9 GHz(行波)为例,仿真结果如图2所示。

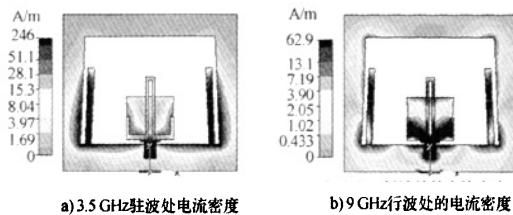


图2 天线行波和驻波时的电流密度

可以看出,在3.5 GHz频率处,天线的表面电流密度集中在枝节附近,并呈现驻波状态;在9 GHz频率处,天线表面电流密度均匀分布在缝隙和枝节的周围,呈现行波状态。驻波状态时枝节附近电流方向相反,天线不能正常辐射。

天线陷波的原理在一些文章中有所涉及。文献[9]根据传输线原理,将枝节结构等效为在电路中添加四分之一波长短路枝节,在天线回路中形成频率阻断。文献[2]根据天线工作状态时的阻抗值,提出陷波时天线可能处于串联谐振或并联谐振状态。本文对天线阻抗曲线进行仿真,得到端口处的阻抗曲线,近似分析谐振处天线的阻抗。

图3为端口位置不同频率的阻抗曲线。从图中可以看出,天线在3.5 GHz左右,端口处的电阻值和电抗值都近似为零,可以认为天线回路中发生串联谐振;在5.6 GHz左右,天线电阻值和电抗值达到最大值,此时呈现并联谐振特性。由此可以得到陷波频率处的等效电路,如图4所示,图中虚线位置分别对应2个枝节。

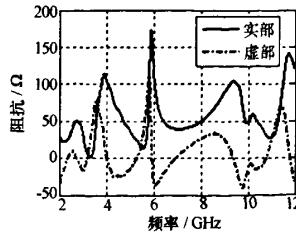


图3 天线不同频率处的阻抗

从等效谐振电路图可以看出,天线工作在3.5 GHz时发生并联谐振,在5.6 GHz时发生串联谐振,电磁能

量分别存储在2个枝节中,不能正常辐射,即具有陷波特性。

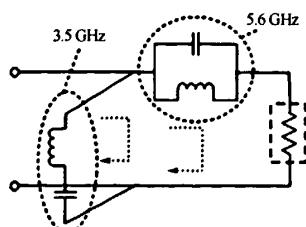


图4 陷波原理的谐振电路分析

3 天线仿真与测试

根据仿真优化结果,制作天线的整体尺寸为40 mm × 35 mm。基质材料选取聚四氟乙烯,介电常数为2.2,损耗角正切 $\tan\delta=0.0004$ 。天线实物如图5所示。

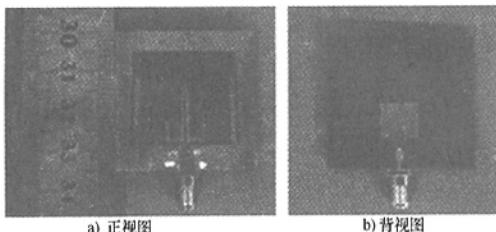


图5 双陷波天线实物

用矢量网络分析仪 Agilent 8510B 对天线的 S 参数和驻波比进行测量,并将实测结果与仿真结果作比较。如图6所示为反射系数 S_{11} 的仿真和实测曲线。

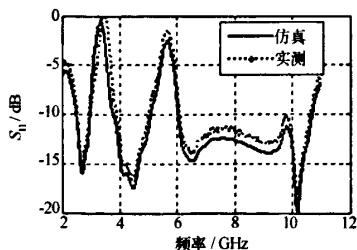


图6 天线反射系数仿真与实测曲线比较

可以看出,天线反射系数小于 -10 dB 的带宽为 2.5 GHz ~ 10.7 GHz,其中包含 3 GHz ~ 3.9 GHz 和 5 GHz ~ 6 GHz 2 个陷波频段。 S_{11} 实测值比仿真值略大,枝节1引起的陷波频段 3 GHz ~ 3.9 GHz 略向右偏。误差产生的原因为制作精度误差等。

为了验证陷波频段内天线的干扰抑制能力,选取 13 个频率点,对天线的增益和辐射效率进行仿真计算,得到结果如图 7 所示。可以看出,通带内的增益比

陷波处增益要高 5 dB 以上,3 GHz ~ 3.9 GHz 和 5 GHz ~ 6 GHz 频段内的增益和辐射效率均很低。由此可以验证天线在通带内正常工作,而在 2 个陷波频段内几乎不工作,达到解决 UWB 天线与 WLAN 和 WiMAX 之间干扰的目的。

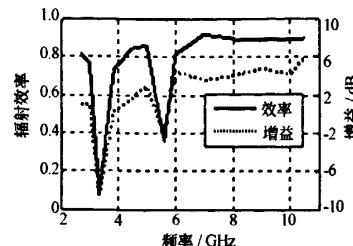


图7 天线的辐射效率和增益示意图

超宽带天线的工作频带很宽,其各项性能指标是与频率有关的函数在整个频段内无法保持恒定。所以,只采用阻抗带宽来描述超宽带天线的特性是不够的,下面对天线通带内的方向图进行测量,选取 4.5 GHz、7 GHz 和 9 GHz 3 个频率点进行测试,结果如图 8 所示。

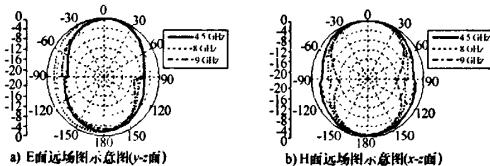


图8 天线远场测试曲线

可以看出,天线在通带内的 E 面呈现出一定的全向辐射特性,其最大不全向性约为 7 dB,H 面近似为双向辐射。因为天线的结构不规则,在不同频段内的物理口径不同,其方向图稳定性不是很好,但是已经满足短距离无线通信的设计需求。实验证明,减小天线整体的尺寸可以稳定天线的远场辐射特性,使得天线能够进一步优化。

4 结束语

本文设计了一种双陷波超宽带缝隙天线,通过在缝隙中引入线形枝节和“E”形枝节,分别在 3.0 GHz ~ 3.9 GHz 和 5.0 GHz ~ 6.0 GHz 2 个频段处产生陷波。分析天线表面电流密度变化,验证了陷波频段的存在。根据天线的阻抗曲线,给出天线陷波处的等效谐振电路。结果表明,陷波频段内的辐射效率很低,达到陷波抑制的目的。

参考文献

- [1] Kalteh A A, Fallahi R F, Roozbahani M G. Design of a band-notched micro-strip circular slot antenna for UWB communication [J]. Progress in Electromagnetics Research C, 2010(12):113–123.
- [2] 周海进,孙保华,李建峰,等.具有双陷波特性的超宽带天线设计与研究[J].微波学报,2009,25(3):13–17.
Zhou Haijin, Sun Baohua, Li Jianfeng, et al. Design and analysis of a planar ultra-wideband antenna with dual band-notched characteristics [J]. Journal of Microwaves, 2009, 25 (3):13–17.
- [3] Kyungho Chung, Jaemoung Kim, Jaehoon Choi. Wideband microstrip-fed monopole antenna having frequency band-notch function [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2005, 15(11):766–768.
- [4] Zhang X, Zhang T L, Xia Y Y, et al. Planar monopole antenna with band-notch characterization for UWB applications [J]. Progress In Electromagnetics Research Letters, 2009 (6):149–156.
- [5] 蔡云龙,冯正和.双F结构的超宽带印刷椭圆槽陷波天线[J].清华大学学报:自然科学版,2009,49(7):960–963.
Cai Yunlong, Feng Zhenghe. Uitrawide band printed elliptical slot band-notched antenna with dual-F slit [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2009, 49 (7):960–963.
- [6] 吕文俊,朱洪波.超宽带 Koch 分形缝隙天线的陷波特性研究 [J].南京邮电大学学报:自然科学版,2008,28(3):44–48.
Lv Wenjun, Zhu Hongbo. On the frequency notched characteristics of ultra-wideband Koch fractal slot antenna [J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications: Natural Science, 2008, 28(3):44–48.
- [7] Ma J, Yin Y Z, Zhou S G. A new ultra-wideband microstrip-line FED antenna with 3.5/5.5 GHz dual band-notch function [J]. Progress in Electromagnetics Research Letters, 2009(7):79–85.
- [8] 廖承恩.微波技术基础[M].西安:西安电子科技大学出版社,1994.
Liao Chengen. Base of microwave technology [M]. Xi'an: Xidian University Press, 1994.
- [9] Symeon Nikolaou, Nickolas D Kingsley, George E Ponchak, et al. UWB elliptical monopoles with a reconfigurable band notch using MEMS switches actuated without bias lines [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009, 57 (8):2242–2251.

刘起坤 男,1985 年生,硕士研究生。研究方向为陷波超宽带天线。

周 波 男,1982 年生,工程师。研究方向为电磁场微波技术。

(上接第 57 页)

参考文献

- [1] Liu Yu, Amit S N, Erich G E, et al. BaSrTiO₃ interdigitated capacitors for distributed phase shifter applications [J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 2000, 10(11): 448–450.
- [2] Acikel B, Liu Yu, Nagra A S, et al. Phase shifters using (Ba,Sr) TiO₃ thin films on sapphire and glass substrates [C]// 2001 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. Phoenix, AZ: IEEE Press, 2001.
- [3] Erker E G, Nagra A S, Liu Yu, et al. Monolithic Ka-band phase shifter using voltage tunable BaSrTiO₃ parallel plate capacitors [J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 2000, 10(1):10–12.
- [4] 周雁翎,钱 林,吕文中,等.用于相控阵雷达的新型铁电移相器[J].华中科技大学学报:自然科学版,2007,35 (4):60–62.
Wang Xinwen, Li Ping, Microwave technology and antenna [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [5] 袁慧馨,温 浩,王东升,等.低成本相控阵技术在机载雷达中的应用[J].现代雷达,2005,27(8):1–3.
Yuan Huixin, Wen Hao, Wang Dongsheng, et al. Application of low cost phased array technique in airborne radar [J]. Modern Radar, 2005, 27(8):1–3.
- [6] 王新稳,李 萍.微波技术与天线[M].北京:电子工业出版社,2004.
Wang Xinwen, Li Ping. Microwave technology and antenna [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

梁 飞 男,1975 年生,博士,副教授。研究方向为微波及毫米波介质材料和器件设计。

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)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)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)，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>