

新型缝隙加载陷波三频微带天线

宋志杰¹, 梁建刚¹, 张荣江²

(1.空军工程大学防空反导学院,陕西西安,710051;2.93942部队,陕西咸阳,712000)

摘要 设计了一种基于陷波结构的三频微带印刷天线,以平面单极子天线为基础,采用共面波导馈电,通过在辐射贴片和微带线上加载缝隙实现了天线的三频特性。用电磁仿真软件 HFSS12 对天线进行设计优化,根据仿真结果制作了天线样品,测试结果与仿真结果吻合较好。天线回波损耗大于 10 dB 的工作频段为 1.85~2.53 GHz,3.14~4.38 GHz 和 4.87~5.93 GHz,可以很好地覆盖 Bluetooth(2.4~2.48 GHz), WiMAX(3.4~3.6 GHz)和 WLAN(5.15~5.825 GHz) 3 个频段。在工作频段内阻抗特性和方向图特性良好,可以满足无线通信的要求。

关键词 三频天线;微带天线;缝隙加载;Bluetooth;WiMAX;WLAN

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.04.015

中图分类号 TN82 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)04-0061-04

A Novel Triple-band Micro-strip Antenna Based on Notched Structure

SONG Zhi-jie¹, LIANG Jian-gang¹, ZHANG Rong-jiang²

(1.Air and Missile Defense college ,Air Force Engineering University,Xi'an 710051,China;

2. 93942 Unit of PLA,Xiayang 712000,Shaanxi,China)

Abstract: A triple-band printed micro-strip antenna fed by coplanar waveguide (CPW) is designed based on notched structure. The character of multi-band is achieved by adding slots to the radiation patch and micro-strip of planar monopole antenna. The antenna model is simulated and optimized by electromagnetism simulation software HFSS12 and a prototype is manufactured according to the result of simulation. The result of measurement fits well with that of simulation. The antenna can work on the bands of 1.85~2.53 GHz, 3.14~4.38 GHz and 4.87~5.93 GHz ($S_{11} < -10$ dB), which cover the bands of Bluetooth (2.4~2.48 GHz), WiMAX (3.4~3.6 GHz) and WLAN (5.15~5.825 GHz). The antenna's impedance and gain are good enough to meet the requirement of wireless communication in its working bands.

Key words: triple-band antenna; micro-strip antenna; notched structure; bluetooth; WiMAX; WLAN

现代无线通信技术的飞速发展,对终端设备提出了越来越高的要求。许多系统需要兼容多个无线通信频段,这就需要设计出能多频段工作且结构简单、易与无线通信设备集成的天线。近几年,印刷天

线以其低轮廓、重量轻、加工简单、成本低且易于集成等优点得到广泛的研究和应用^[1]。而共面波导结构因具有大带宽、阻抗容易匹配、辐射损耗低以及单极化结构等优点被广泛应用于射频设备中。

收稿日期:2014-03-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61372034)

作者简介:宋志杰(1989-),男,山东威海人,硕士生,主要从事超材料天线的仿真研究.E-mail:szjlylj@163.com

引用格式:宋志杰,梁建刚,张荣江.新型缝隙加载陷波三频微带天线[J].空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(4):61-64. SONG Zhijie, LIANG Jiangan, ZHANG Rongjiang. A Novel Triple-band Micro-strip Antenna Based on Notched Structure[J]. Journal of air force engineering university, natural science edition, 2014, 15(4): 61-64.

目前有多种方法来实现微带天线的双频或多频工作。可以引入不同的谐振单元实现多谐振特性,各个谐振单元之间直接馈电^[2]或通过耦合馈电^[3];也可以通过开槽实现多模式,使天线工作在多个频率^[4];还可以利用分形结构的自相似性实现多频特性^[5-6];或者在天线上加载缝隙或枝节^[7-8],改变天线表面的电流,实现双频或多频工作。其中加载缝隙是一种很常用的实现带阻功能的方法,缝隙结构易于加工,需要调节的量少且易于调节,并且对天线的整个带内阻抗匹配影响不大,缝隙结构可以独立于天线的整体设计。

本文提出了一种新型的宽带三频天线,利用三维仿真软件 HFSS12 对天线进行仿真优化,并对天线实物进行加工测量。

1 天线结构及原理

本文设计的天线实现多频工作的原理与传统多频天线有所不同,它是在宽带天线的基础上,利用加载不同的缝隙产生陷波特性的,对非工作频段实现抑制,从而得到所需要的工作频段。同时,通过调节缝隙的大小可以很方便地改变产生陷波的频率位置,理论上可以获得工作在任意频段的多频天线。

天线结构见图 1,深色部分为金属,介质板为介电常数为 4.3、介质损耗角正切 $\tan\delta=0.02$ 的环氧玻璃布板。天线采用共面波导馈电,通过加载如图所示圆形缝隙、双倒 L 形缝隙和凹形缝隙 3 个缝隙结构实现陷波功能,得到 3 个工作频带。通过 HFSS12 对天线进行仿真设计,优化后得到天线尺寸见表 1。

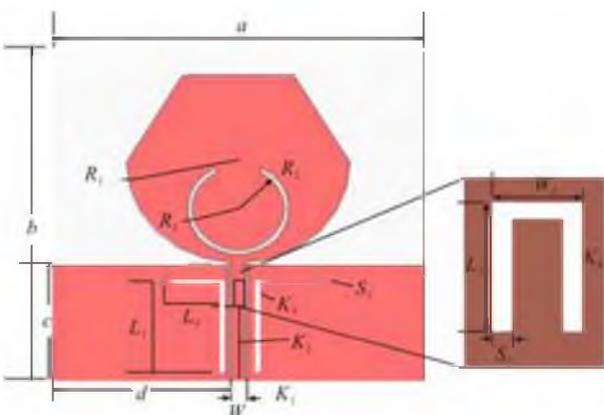


图 1 天线结构示意图

Fig.1 Antenna configuration

表 1 天线结构尺寸

Tab.1 Dimensions of the antenna mm						
参数	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>R</i> ₁	<i>R</i> ₂
尺寸	50	50	17.5	23.7	15	6.2
参数	<i>R</i> ₃	<i>W</i>	<i>W</i> ₁	<i>S</i> ₁	<i>S</i> ₂	<i>L</i> ₁
尺寸	6.8	2	1.4	0.5	0.2	14
参数	<i>L</i> ₂	<i>L</i> ₃	<i>K</i> ₁	<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₃	<i>K</i> ₄
尺寸	4	8	1	11	0.7	0.3

按照电路理论分析,加载缝隙相当于引入电感和电容的并联电路,从而在原有电路中增加了一个并联谐振点造成阻抗失配,形成大的反射系数。图 2 给出了天线加载缝隙前后的电流分布对比。从图中可以看出,天线未加载缝隙时电流成行波状态,且分布均匀,天线可以正常辐射。加载缝隙后表面电流成驻波状态,电流主要集中在缝隙周围,天线不能正常辐射,处于陷波状态。

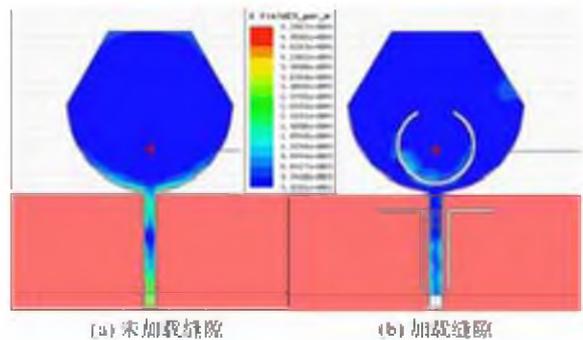


图 2 天线电流分布仿真结果

Fig.2 Simulated results of the current

图 3 为天线未加载缝隙时的结构及回波损耗图,图 4 为加载圆形缝隙后天线结构及回波损耗图。从两图中的比较中可以看出,加载缝隙后,产生了明显的陷波。由于有效截断电流的缝隙长度为 0.5 倍的谐振波长,谐振点频率的近似计算公式为:

$$f = \frac{c}{(4\pi R - 2k) \sqrt{\epsilon_e}} \tag{1}$$

式中:*f* 为频率;*c* 为光速;*R* 为缝隙半径;*k* 为缝隙宽度; ϵ_e 为等效介电常数。

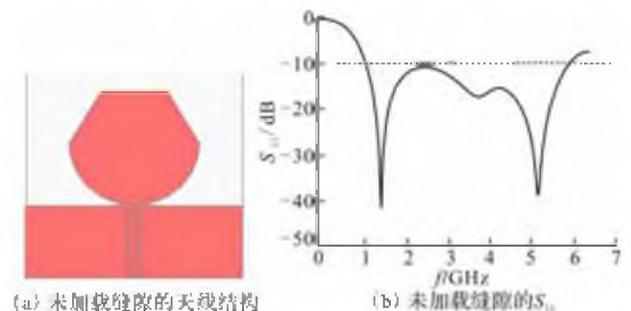


图 3 未加载缝隙时的天线结构及 S₁₁ 曲线

Fig.3 Configuration and S₁₁ of the antenna without slot

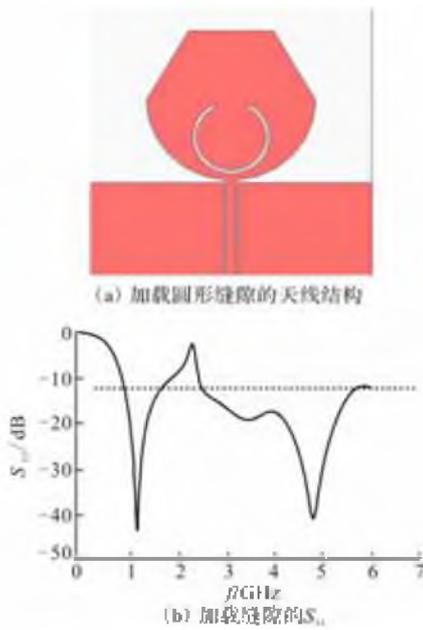


图 4 加载圆形缝隙后天线结构及 S_{11} 曲线

Fig.4 Configuration and S_{11} of the antenna with a round slot

图 5 给出了圆形缝隙半径的变化对陷波频率的影响。从图中可以看出,当圆环半径逐渐变小时,陷波向高频移动。陷波频率可以由缝隙长度灵活调节,并且调节圆形缝隙只对第 1 处陷波频率有影响,对其他频率点几乎没有影响,说明各个陷波频率之间相对独立,互不影响。双倒 L 形缝隙和凹形缝隙产生陷波的原理与此相同。最终通过圆环缝隙、双倒 L 形缝隙和凹形缝隙共同作用,产生 2 处陷波,实现三频特性。

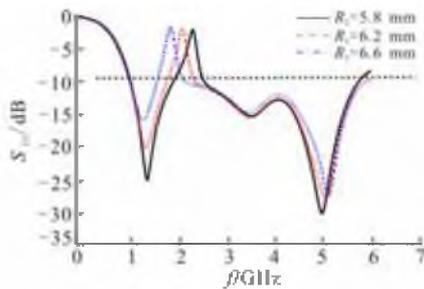


图 5 不同半径圆形缝隙时的 S_{11} 曲线

Fig.5 S_{11} of antennas with round slots of different size

2 天线的仿真测试与分析

基于以上分析,用 HFSS 仿真软件对天线进行仿真,并对设计的天线进行加工和测试。图 6 给出了天线 S_{11} 仿真曲线和实测曲线,从图中可以看出天线 S_{11} 仿真结果和实测结果基本一致。加载缝隙后天线回波损耗大于 10 dB 的工作频段分别为 1.85 ~ 2.53 GHz、3.14 ~ 4.38 GHz 和 4.87 ~ 5.93 GHz,分别覆盖了 Bluetooth(2.4 ~ 2.48 GHz), WiMAX

(3.4 ~ 3.6 GHz) 和 WLAN(5.15 ~ 5.825 GHz) 的工作频段,具有良好的三频特性。

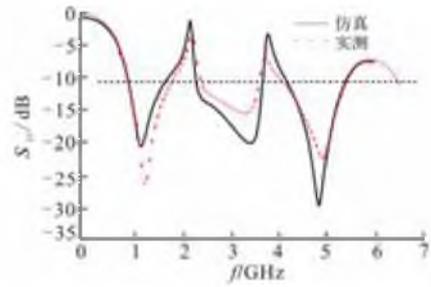


图 6 天线 S_{11} 曲线

Fig.6 S_{11} of the antenna

图 7 给出了天线分别在 2.4 GHz、3.5 GHz 和 5.4 GHz 时的方向图仿真结果。从图中可以看出,在低频范围内,天线辐射方向图与单极子天线基本一致。随着频率的升高,天线辐射性能变差,主瓣略有偏差。原因是较高的频率激起高次模,造成天线方向图的变化。但是,在整个工作频带内,天线的方向图基本一致,满足无线通信对天线方向图的要求。

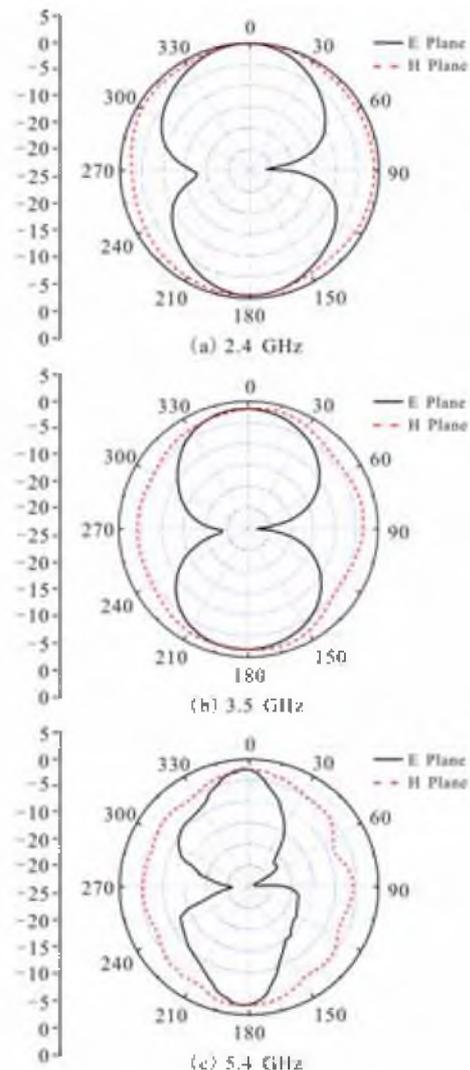


图 7 天线增益方向图

Fig.7 Radiation patterns of the antenna

图8给出了天线的增益仿真结果。在2.4~2.48 GHz, 3.3~3.7 GHz和5.15~5.825 GHz 3个频段内,增益都在2 dB以上。

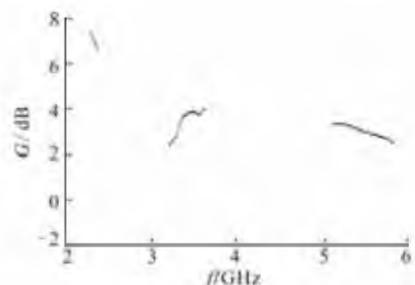


图8 天线增益仿真结果

Fig.8 Simulated gain of the antenna

3 结语

利用缝隙加载产生陷波结构,设计了一种用于无线通信的三频天线。为了在宽频天线中得到三频效果,对非工作频段实现有效抑制,分别添加了3个不同的缝隙结构,产生阻抗失配,形成陷波。结果表明天线获得了1.85~2.53 GHz,3.14~4.38 GHz和4.87~5.93 GHz 3个工作频带,可以同时满足多种无线通信的要求。并且这种结构的天线,能够灵活调节频率范围,应用前景广阔。

参考文献(References):

- [1] 钟顺时.微带天线理论与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991.
ZHONG Shunshi. The theory and application of microstrip antenna[M]. Xi'an: Xidian university publishing house, 1991. (in Chinese)
- [2] Song C T P, Hall Peter S, Ghafouri Shirazh. Multi-band multiple ring monopole antennas [J]. IEEE transaction on antennas and propagation, 2003, 51(4): 722-729.
- [3] Chen W S, Yu Y H. Dual-band printed dipole antenna with parasitic element for WiMAX applications [J]. Electronics letters, 2008, 44(23): 1338-1339.
- [4] Mukandatimana M C, Denidni T A. A multi-resonator microstrip-fed patch antenna for broadband dual-band operation [C]//2004 IEEE antennas and propagation society symposium antennas and propagation society. Montreal, Que, Canada: IEEE press, 2004: 4292-4295.
- [5] 周成,王光明,梁建刚,等.新型 WLAN 双频天线的研究与设计[J].现代雷达,2011,30(10):60-62.
ZHOU Cheng, WANG Guangming, LIANG Jiangan, et al. A novel miniaturized dual-band antenna for WLAN application[J]. Modern radar, 2011, 30(10):

60-62. (in Chinese)

- [6] 吴启铎,张广求,任帅.一种双U形缝隙加载的分形多频天线[J].信息工程大学学报,2010,11(3):276-278.
WU Qiduo, ZHANG Guangqiu, REN Suai. Fractal multiband antenna with dual U-shape slot[J]. Journal of information engineering university, 2010, 11(3): 276-278. (in Chinese)
- [7] 赵春艳,豆栋梁,肖博宇.基于陷波结构的移动通信双频带微带天线设计[J].信息工程大学学报,2011,12(1):60-62.
ZHAO Chunyan, DOU Dongliang, XIAO Boyu. Design of dual-band microstrip antenna for mobile communication based on the notched structure[J]. Journal of information engineering university, 2011, 12(1): 60-62. (in Chinese)
- [8] 翟岱亮,张晨新,李红梅,等.新型圆形共面波导双陷波超宽带天线设计[J].空军工程大学学报:自然科学版,2012,13(3):50-53.
ZHAI Dailiang, ZHANG Chenxin, LI Hongmei, et al. Design of a novel CPW-fed circular disc ultra-wide-band antenna with dual-notched characteristics [J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2012, 13(3): 50-53. (in Chinese)
- [9] Dong Sanjun, Xu Jiaojiao, Jiang Tao. Design of dual-band printed antenna used for ISM and UNNI bands [J]. Applied science and technology, 2009, 36(9): 34-38.
- [10] Lin C I, Wong K L. Internal meandered loop antenna for GSM/DCS/PCS multiband operation in a mobile phone with user's hand[J]. Microwave optical technology letters, 2007, 49(4): 759-766.

(编辑:田新华)