

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.10.021

一种新型超宽带双陷波平面单极子贴片天线设计*

周喜权**

(齐齐哈尔大学 通信与电子工程学院,黑龙江 齐齐哈尔 161106)

摘 要:设计一种新型双陷波超宽带单极子贴片天线,辐射贴片为酒杯型天线结构,采用对底部边缘开槽曲流的办法,实现了良好超宽带天线性能。同时对辐射贴片加载了 U 形和 C 形缝隙,分别在 3.5 GHz 和 5.5 GHz 处产生陷波。利用 HFSS 软件对所设计天线进行仿真验证,仿真结果与实测结果表明,该天线在超宽带范围内能有效抑制双陷波能力,并且在通带范围有良好辐射和稳定增益特性。其天线尺寸为 33 mm×26 mm×0.74 mm,便于集成在电路系统中。

关键词:超宽带天线;双陷波;单极子贴片天线;U 形缝隙;C 形缝隙

中图分类号:TN822 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)10-1362-05

Design of a Novel Broadband Double Trap Planar Monopole Patch Antenna

ZHOU Xi-quan

(College of Communication and Electronic Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161106, China)

Abstract: A novel dual band notched Ultra Wideband (UWB) monopole patch antenna is presented. Its radiation patch is the glass antenna structure and the bottom edge is slotted with meandering way, so good performance of UWB antenna is achieved. At the same time, the radiation patch is loaded with U type and C type slot, respectively, in the 3.5 GHz and 5.5 GHz notch. The design of the antenna is simulated by using HFSS software, and the simulation and the measured results show that the antenna effectively inhibits the double notch ability in ultra wideband range, and good radiation and stable gain characteristics in the pass band range. The antenna size is 33 mm×26 mm×0.74 mm, and it can be easily integrated in a circuit system.

Key words: UWB antenna; double trap; monopole patch antenna; U type slot; C type slot

1 引 言

随着无线通信技术的迅猛发展,信息通信所要求的带宽逐渐增加,超宽带通信成为研究的热点。美国通信委员会于 2002 年将 3.11 ~ 10.16 GHz 频段作为超宽通信使用,但由于频率覆盖的范围与 5.15 ~ 5.825 GHz 的无线局域网 (WLAN) 和 3.4 ~ 3.6 GHz 的全球微波无线互联网络 (WMAX) 频段的干扰不可避免,解决这种干扰最简单方法是在天线

设计上直接产生陷波频段,所以设计超宽带陷波天线具有重要意义。

早期宽频陷波天线是通过将不同频段谐振的窄带天线集成在一起实现多频天线功能^[1]。这样设计的天线体积较大,还存在频带间的耦合干扰问题,影响天线性能。2003 年,美国工程师 Schantz H G 提出了具有现代意义超宽带陷波天线的理论。通过在超宽带天线匹配半波长或 1/4 波长的谐振结构实

* 收稿日期:2013-05-31;修回日期:2013-09-18 Received date:2013-05-31;Revised date:2013-09-18
基金项目:黑龙江省教育厅科研项目(12521604)
Foundation Item: The Scientific Research Project of Education Department of Heilongjiang Province(12521604)
** 通讯作者:985590535@qq.com Corresponding author:985590535@qq.com

现对目标频段的“陷波”^[2-4]。文献[5]中使用分形谐振贴片,实现了 5 GHz 附近宽带陷波特性和分形结构复杂,不利于加工制作。通常情况下,在天线上开缝,可以实现特定频段的陷波功能^[6-9]。James R 对天线的表面电流分布进行了详细分析,对陷波天线的设计提供了指导与实践作用^[7]。

基于以上研究情况,本文设计了一种具有双陷波功能的超宽带天线。通过简单微带馈线输入,并对辐射贴片进行了表面开缝,形成 U 形和 C 形缝隙。并对影响天线陷波特性的缝隙尺寸进行了分析和仿真,同时对贴片表面电流分布与缝隙关系进行了仿真分析,提出开缝依据。仿真和实测结果表明,该天线在 3.11 ~ 10.16 GHz 宽频范围内具有良好匹配特性,在 5.15 ~ 5.825 GHz 的无线局域网和 3.4 ~ 3.6 GHz 的全球微波无线互联网络频段具有良好陷波功能。天线尺寸较小,制作方便,便于集成在电路系统中。

2 天线模型构建

2.1 天线结构

本设计天线采用平面贴片微带馈电设计,经 Ansoft HFSS v12 软件优化后的天线结构尺寸如图 1 所示。天线制作在长宽高为 33 mm × 26 mm × 0.74 mm、介电常数为 2.2 的聚四氟乙烯环氧树脂基板上。介质板正面是椭圆和矩形组成的酒杯贴片,在椭圆贴片的底部开有三对对称缝隙,其间距为 0.5 mm,缝宽为 0.5 mm,长度分别为 2.56 mm、2.15 mm、1.39 mm,目的是增加天线电长度,满足超宽带天线频段要求和天线尺寸减小目的。背面是被切角的矩形接地板,切角目的是调整输入阻抗带宽。天线采用特性阻抗为 50 Ω 的微带线馈电。

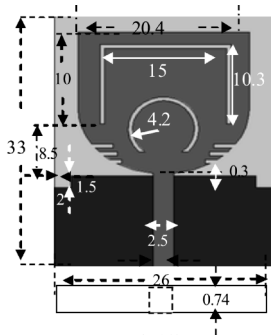


图 1 天线结构
Fig. 1 Antenna structure

2.2 天线陷波工作原理

从上面分析中可知,在超宽带天线上实现陷波

功能较简单方法是采用在辐射贴片上开规则缝隙,缝隙规则性主要是便于调试陷波频点。由于天线辐射电流主要分布于贴片的边缘和馈电附近,所以将 U 形缝放置在贴片边缘附近,而 C 形缝放置在贴片馈电附近。图 1 为具有双陷波结构天线,缝隙宽度为 0.4 mm,各自的长度满足相应陷波中心频率谐振要求,其相应长度的改变影响各自谐振频点位置。

通常来说,两缝隙的长度为相应陷波频点中心频率对应的波长的一半,U 形槽和 C 形槽的长度 L 可由公式(1)估算初始数据:

$$L \approx \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \tag{1}$$

其中, f_0 为陷波中心频率, c 为光速, ϵ_r 为介质板相对介电常数。通过优化得到对应 U 和 C 形槽的长度分别为 35.6 mm 和 19.88 mm,对应的中心频率分别为 3.5 GHz 和 5.5 GHz。

这种开缝实现陷波原理可以理解为将天线视为一组谐振频率互为接近的 RLC 谐振电路的串联^[10],如图 2 所示^[9],其电路等效输入端阻抗 Z_r ,见公式(2)。

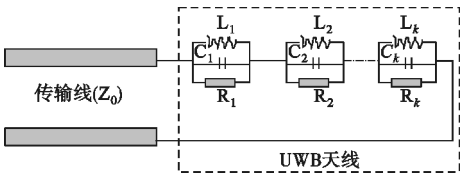


图 2 UWB 天线等效电路
Fig. 2 Equivalent circuit of UWB antenna

$$Z_r \approx \sum_{k=1}^n \frac{j\omega R_k L_k}{R_k(1 - \omega^2 L_k C_k) + j\omega L_k} \tag{2}$$

当传输线特性阻抗 Z_0 满足宽频内各谐波产生的等效输入阻抗 Z_r 匹配要求时,天线辐射在超宽带范围内,这时天线辐射面电流主要分布于天线四周和与地板临近的区域,图 3 为 8 GHz 谐波电流分布。但当输入频率为陷波中心频率 3.5 GHz 时,其对应的谐振电路谐振最强,其他变小,这时对应的天线谐振面电流分布于 U 形缝隙周围,如图 4(a) 所示。它改变了天线辐射电流分布,使等效输入电流发生变化,导致等效输入阻抗发生变化,与传输线特性阻抗失配,使对应该频率的入射波产生强反射,从而产生 3.5 GHz 的陷波频率。同理,输入陷波中心频率为 5.5 GHz 时,其 C 形缝周围谐振面电流最强,其他谐波都较弱,如图 4(b) 所示,这时输入等效阻抗与传输线特性阻抗失配,从而产生 5.5 GHz 陷波频率。

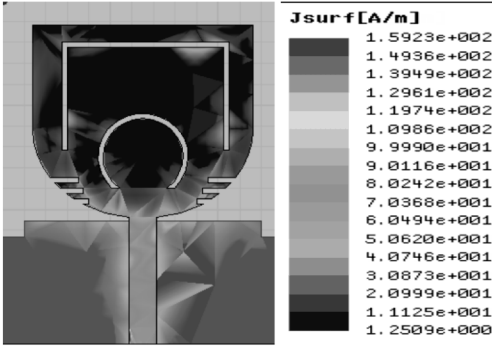


图 3 $f_0=8$ GHz 天线辐射面电流分布
Fig. 3 Surface current distribution of antenna radiation at $f_0=8$ GHz

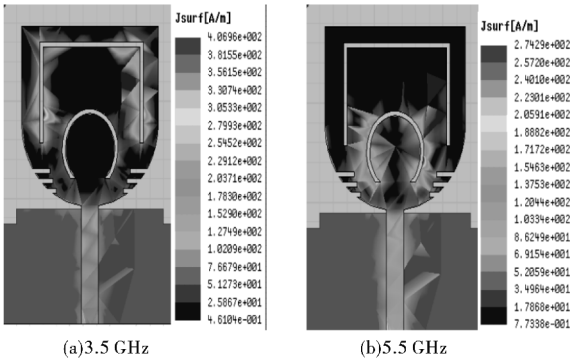


图 4 3.5 GHz 和 5.5 GHz 天线辐射面电流分布
Fig. 4 Surface current distribution of antenna radiation at 3.5 GHz and 5.5 GHz

总之,陷波谐振电流产生在缝隙周围,沿缝隙流动,相当天线线电流分布,而线电流谐振长度为谐振频率对应波长的一半,所以公式(1)的缝隙长度 L 计算是选择辐射贴片谐振频率对应波长的一半。

3 陷波特性仿真与分析

3.1 天线电气性能仿真结果分析

辐射贴片上没有开 U 和 C 形缝隙时其模型的端口驻波比(VSWR)曲线如图 5 所示,可见天线在 $VSWR<2$ 的端口驻波比带宽为 3.01 ~ 11.65 GHz,包含 UWB 工作频段。

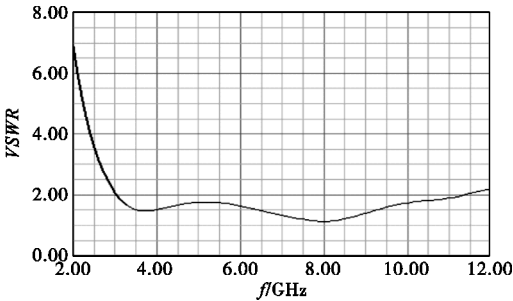


图 5 没有陷波下端口驻波比与频率关系曲线
Fig. 5 Port VSWR with frequency curves in no notch

当在天线上开有 U 形和 C 形缝隙时,通过仿真研究得到端口驻波比在 $VSWR >2$ 的两个频段陷波谐振点,其中的 U 形缝对应的陷波低频段为 3.4 ~ 3.6 GHz,而 C 形缝对应的陷波高频段 4.61 ~ 5.97 GHz,如图 6 所示。

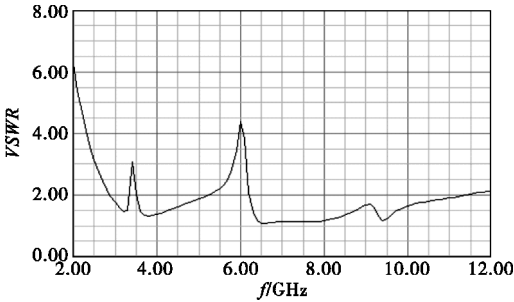


图 6 有陷波下端口驻波比与频率关系曲线
Fig. 6 Port VSWR with frequency curve in notch

天线在 7 GHz 和 10 GHz 频率下远场辐射如图 7(a) 和(b) 所示,从两种频率下平面辐射方向图可知 E 面图与偶极子辐射图分布趋势相同,随频率增加略有畸变;而 H 面方向图基本保持全向分布,但随着频率升高也略有畸变。整个 UWB 频段基本保持方向图分布的稳定,满足超宽频天线设计要求。

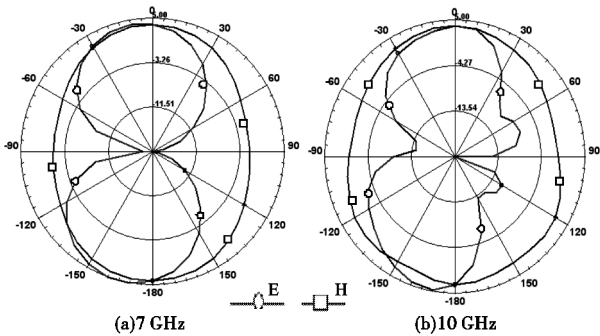


图 7 7 GHz 和 10 GHz 的 E 面和 H 面方向图
Fig. 7 E-plane and H-plane pattern at 7 GHz and 10 GHz

3.2 天线参数功能仿真分析

影响两陷波谐振点位置因素很多,但主要是两缝隙的大小和相对位置。由于 U 形和 C 形缝隙间距较近,有一定电磁互耦产生,所以调整它们尺寸与位置时将对两个陷波频率均有影响。下面分别对影响两陷波的主要参数进行仿真分析。

(1)U 形槽长度 l_{22} 对陷波谐振频率的性能影响

如图 8 所示,U 形长度 l_{22} 不同对两陷波谐振频率都有影响,越长越向低频移动,符合公式(1)变化规律,所以调整 l_{22} 长度可以同时控制两个谐振

频率点陷波位置。

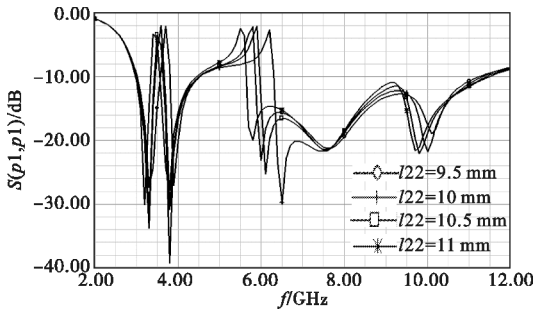


图 8 U 形槽长度 l_{22} 对天线性能影响

Fig. 8 Effect of length l_{22} of U type slot on antenna performance

(2) C 形槽半径 r_3 对陷波谐振频率影响

由图 9 可知,C 形半径 r_3 大小主要影响5.15 ~ 5.825 GHz高频陷波点,对低频陷波点影响较小, r_3 越小越向高频扩展,同样符合公式(1)变化规律,所以通过调整 r_3 可控制该陷波频率位置。

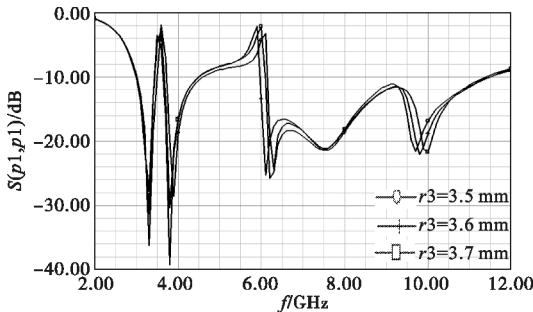


图 9 C 形槽半径 r_3 对天线性能影响

Fig. 9 Effect of radius r_3 of C type on antenna performance

(3) C 形槽垂直位置变化对陷波谐振点的影响

如图 10 所示,随着 C 形缝隙在垂直位置 x_2 增加,也即垂直向下移动,两陷波频率都向低频移动,说明两缝隙相对间有互耦现象,所以通过改变 x_2 也可控制两陷波频率位置。

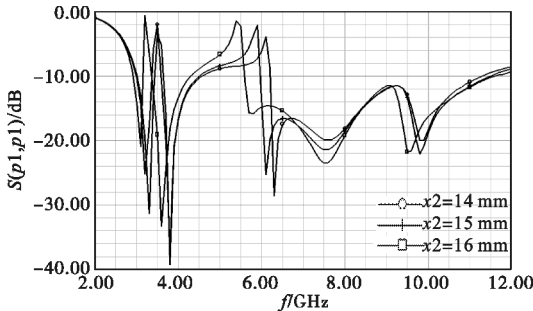


图 10 C 形槽位置 x_2 变化对天线性能影响

Fig. 10 Effects of position x_2 of C type on antenna performance

4 实验结果分析

本文设计的天线使用了 HFSS 公司的高频仿真软件进行了仿真,确定了天线的尺寸,在此基础上加工出来天线实物如图 11 所示。使用矢量网络分析仪对天线端口相应频率点的驻波比进行了测量,得出了所需的实验结果与仿真比较图如图 12 所示。与仿真结果相比,天线工作的起始频率有所上升,在两个的陷波频段有些偏移,阻带中心频率处的驻波比减小,但也在可使用的范围内。出现这些偏差是由天线实物在加工和端口焊时出现一定误差引起的,不过总体上讲,此结果和仿真得到的结果基本吻合。

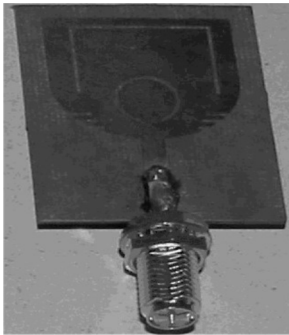


图 11 实物天线

Fig. 11 Photo of the designed antenna

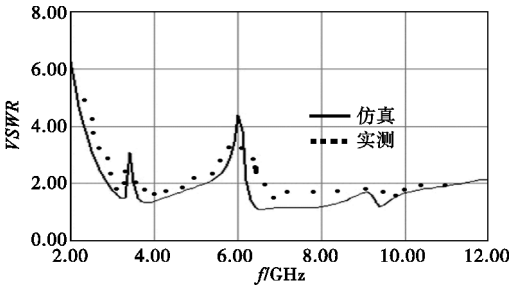


图 12 仿真与实测驻波比曲线

Fig. 12 Simulated and measured VSWR curve

5 结 论

本文设计出带有陷波功能的超宽带单极子天线。通过在酒杯形辐射贴片上嵌入 U 形和 C 形两种形状缝隙,实现了在频率5.15 ~ 5.825 GHz和3.4 ~ 3.6 GHz上的陷波宽频天线要求。该天线具有超宽带优势的同时,避开了无线局域网和全球微波无线互联网络频段的干扰。在整个 UWB 频段内,有良好的辐射和方向图稳定特性,在最大辐射方向最大可达 8.29 dB 的增益。由于天线较小,两陷波缝隙距离较近,有互耦作用,导致两陷波频率调整时互相影响,但经仿真优化基本实现所要求目标,可以实

现超宽带下实现双陷波功能通信要求。

参考文献:

- [1] Schantz H. Frequency notched UWB antenans [C] // Proceedings of 2003 IEEE Ultra Wideband System and Technologies Conference. Reston, Virginia, USA: IEEE, 2003: 214-218.
- [2] Chen Wenshan. Design of the printed open slot for antenna WLAN/Wimax operation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008, 5(4): 1163-1169.
- [3] Maj Y Z, Zhou S G. A new ultr- wideband microstrip-line fed antenna with 3.5/5.5GHz dual band-notch fnction [J]. Progress in Electom annetics Research Letters, 2009, 7: 79-85.
- [4] Tang Mingchun. Compact UWB antenna with multiple band-notches for WIMAX and WLAN [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(4): 1372-1376.
- [5] Lui W J. Frequency notched Ulta - wideband microstrip slot antenna weith fractal tuning stub [J]. Electronics Letters, 2005, 41(6): 294-296.
- [6] Chu Q X, Huang T G. Compact UWB antenna with sharp band-notched characteristics for lower WLAN band [J]. Electronics Letters, 2011, 47(15): 838-839.
- [7] James R. Band-notched UWB antenna incorporating amicrostrip open - loop resnator [J]. IEEE Transcations on Antennas and Propagation, 2011, 59(8): 3054-3048.

- [8] 刘起坤, 邢锋, 张广求. 一种新型双陷波超宽带天线设计 [J]. 微波学报, 2011, 27(1): 40-43.
LIU Qi-kun, XING Feng, ZHANG Guang-qin. Design of a Novel Planar Ultra-wideband Antenna with Dual Band-Notched Characteristics [J]. Journal of Microwaves, 2011, 27(1): 40-43. (in Chinese)
- [9] 宋一川, 丁君, 郭陈江. 具有双频陷波特性的超宽带印刷天线研究 [J]. 微波学报, 2013, 29(1): 65-69.
SONG Yi-chuan, DING Jun, GUO Chen-jiang. Research on Printed Monopole UWB Aantenna with Dual Band-Rejection Characteristic [J]. Journal of Microwaves, 2013, 29(1): 65-69. (in Chinese)
- [10] Lee Wang-Sang. Wideband planar monopole antennas with dual band - notched characteristics [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2008, 56(12): 3637-3644.

作者简介:



周喜权(1963—),男,2007年于长春理工大学获工学硕士学位,现为副教授,主要从事微波电磁场的研究。

ZHOU Xi-quan was born in 1963. He received the M. S. degree from Changchun University of Science and Technology in 2007. He is now an associate professor. His research concerns microwave electromagnetic field.

Email: 985590535@ qq. com