

文章编号: 1001 - 893X(2011)08 - 0125 - 05

共面波导馈电的宽带天线设计*

张佳亮¹, 雷振亚¹, 谢拥军^{1,2}, 杨 可¹, 文 睿¹

(1. 西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室, 西安 710071;

2. 北京航空航天大学 电磁兼容实验室, 北京 100083)

摘 要:介绍了共面波导天线的性能、设计原理,分析了各个参数对天线性能的影响,通过优化半椭圆辐射贴片的长短轴半径,设计了一种结构简单的共面波导馈电的小型超宽带天线,覆盖频段为 2.9 ~ 10.8 GHz。在此天线的基础上,采用在天线辐射贴片底端依次刻蚀三组矩形凹口的措施,使得天线的带宽得到进一步的展宽,覆盖了 3 ~ 31 GHz 频段,阻抗带宽超过 10:1。加工了实物并进行了测试,测试结果与仿真结果吻合较好,表明这种展宽带宽方法的有效性。该天线结构简单,尺寸小,便于集成在多种移动通信系统中。

关键词:移动通信;超宽带天线;共面波导;展宽带宽

中图分类号: TN822 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1001 - 893x.2011.08.026

Design of a CPW - fed Wideband Antenna

ZHANG Jia-liang¹, LEI Zhen-ya¹, XIE Yong-jun^{1,2}, YANG Ke¹, WEN Rui¹

(1. Key Laboratory of Antenna and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. EMC Lab, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The performance and design principles of the coplanar waveguide (CPW) antenna are introduced, and the influence of parameters on antenna properties is analysed. By optimizing the length of the long and short radius of the semi-elliptical radiation patch, a small simple-structured CPW - fed UWB (Ultra - wideband) antenna is developed, which covers 2.9 ~ 10.8 GHz. Based on this antenna, by deploying the measure of etching three pairs of rectangular notches successively at the bottom of the antenna radiation patch, the bandwidth of the antenna is broadened, ranging from 3 ~ 31 GHz. The impedance bandwidth has exceeded 10:1. An antenna is manufactured and tested. The results show a good agreement with the simulation results, which indicates the validity of the method to broaden bandwidth. This antenna is simple in structure and small in size, and can be conveniently integrated in various mobile communication systems.

Key words: mobile communication; UWB antenna; CPW; broaden bandwidth

1 引 言

随着 2002 年 2 月 14 日美国联邦通信委员会 (FCC) 对超宽带 (UWB) 技术用于短距离无线通信申请的批准, 以及对 3.1 ~ 10.6 GHz 频段频谱资源的开放^[1], 超宽带天线在无线通信系统中的应用越来越

受到重视。

微带天线由于具有剖面低、重量轻、体积小、容易和微波电路集成等优点, 在无线通信系统中得到了很多的应用, 特别是共面波导馈电的印刷天线, 相比有着带宽更宽、辐射效率更高、全向覆盖特性更好等优点, 因此在科研和实践中备受青睐。

文献[2 - 5]研究了几种比较典型的 UWB 天线,

* 收稿日期: 2011 - 03 - 21; 修回日期: 2011 - 05 - 04

其中文献[3]对比了分别采用微带线和共面波导馈电时天线的带宽,证明共面波导馈电更容易获得较宽的带宽。文献[6]提出的天线尺寸比较大,实际应用中受到限制。文献[7,8]提出的天线带宽都超过5.2:1,其中文献[8]采用了和文献[4]类似的措施来展宽带宽,不同之处在于文献[4]是在微带地板上刻蚀矩形阶梯,而文献[8]是在微带辐射贴片上刻蚀。

本文首先讨论了共面波导天线的设计,设计了一种结构简单的共面波导馈电的 UWB 天线,在此基础上,采用在辐射贴片底端刻蚀矩形凹口的方法,对其带宽进行了展宽,并对结果进行了测试。

2 超宽带天线结构的设计

设计的共面波导天线主要由两块接地板、一个辐射贴片、一段共面波导馈线和介质基板组成。天线馈电段共面波导的设计依据式(1)~(4)^[9]。

$$k_1 = \frac{w}{w + 2g} \sqrt{\frac{1 - (w + 2g)^2/w_1^2}{1 - w^2/w_1^2}} \tag{1}$$

$$k_2 = \frac{\sinh(\pi w/4h)}{\sinh(\pi(w + 2g)/4h)} \times \sqrt{\frac{1 - \sinh^2(\pi(w + 2g)/4h)/\sinh^2(\pi w_1/4h)}{1 - \sinh^2(\pi w/4h)/\sinh^2(\pi w_1/4h)}} \tag{2}$$

$$\epsilon_{re} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{K(k_2)K'(k_1)}{K'(k_2)K(k_1)} \tag{3}$$

$$z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \tag{4}$$

式中, w 和 g 分别为共面波导馈线的导线宽度和间隙宽度, w_1 为天线的总宽度, h 为基板厚度, ϵ_r 为介质相对介电常数, ϵ_{re} 为介质有效介电常数, Z_0 为共面波导馈线的特性阻抗; $K(k)$ 、 $K'(k)$ 分别为第一类完全椭圆积分及其补函数,具体表达式如式(5)所示:

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \begin{cases} \frac{\pi}{\ln[2(1 + \sqrt{1 - k^2})/(1 - \sqrt{1 - k^2})]}, & 0 \leq k \leq 0.707 \\ \frac{\ln[2(1 + \sqrt{k})/(1 - \sqrt{k})]}{\pi}, & 0.707 \leq k \leq 1 \end{cases} \tag{5}$$

通过编程可以计算得到天线的尺寸和 ϵ_{re} 等。介质基板采用介电常数 $\epsilon_r = 4.4$ 的聚四氟乙烯基板,大小为 31 mm × 28 mm × 0.5 mm,优化后天线的结构如图 1 所示。其中,辐射贴片为一个半椭圆,长短轴半径分别为 R_2 、 R_1 , $R_1 = 12.0$ mm, $R_2 = 19.2$ mm。其余参数的值为: $w = 2.8$ mm, $g = 0.7$ mm, $w_1 = 28.0$ mm, $d = 11.0$ mm, $h = 0.5$ mm, $l = 31.0$ mm。

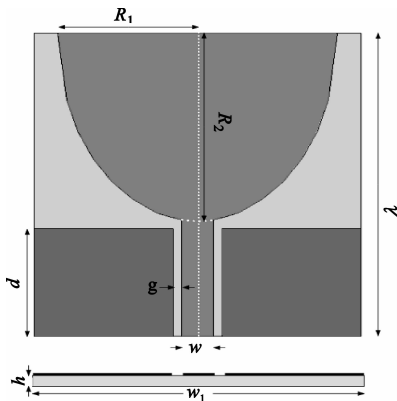
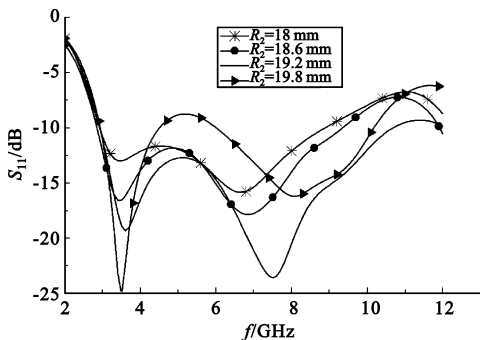


图 1 天线结构图
Fig.1 Structure of the proposed antenna

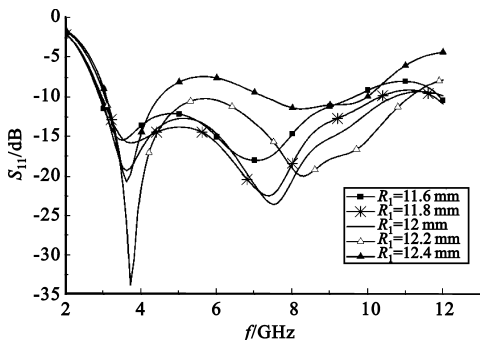
3 天线参数的研究

为了更好地了解天线的性能,需要对天线结构的参数进行研究,以明确设计此类天线的依据,利用 HFSS 软件对天线参数进行仿真。由于此天线的辐射主要是由辐射贴片的形状和尺寸决定的,在 HFSS 中建模,对半椭圆贴片的长短轴尺寸分别进行仿真。

图 2 为半椭圆辐射贴片长短轴半径对回波损耗的影响曲线。



(a) R_2



(b) R_1

图 2 椭圆辐射贴片的影响
Fig.2 Effects of the elliptical radiation patch

从图 2(a)中可以看出,在一定的范围内,随着 R_2 的增加,天线的阻抗带宽不断增大,主要原因是 R_2 增大,即辐射贴片的高度增加,相当于增大了共面波导馈线与辐射贴片之间的阻抗匹配段,同时与地板的谐振也得到增强,因此天线的阻抗带宽得到了展宽。图 2(b)中 R_1 对应贴片的宽度,可以看出其对带宽影响不大,主要影响频带内驻波的平坦特性,因此,可以通过调节 R_1 实现良好的匹配,从而获得频带内比较理想的阻抗特性。结合图 2(a)、(b),当选择 $R_2 = 19.2\text{ mm}$, $R_1 = 12\text{ mm}$ 时,天线在 $2.9 \sim 10.8\text{ GHz}$ 频段内满足 $S_{11} < -10\text{ dB}$ 。

天线的辐射方向图是天线的另一主要指标。图 3 给出了频率在 4 GHz 、 7 GHz 和 11 GHz 3 种情况下天线的辐射方向图。

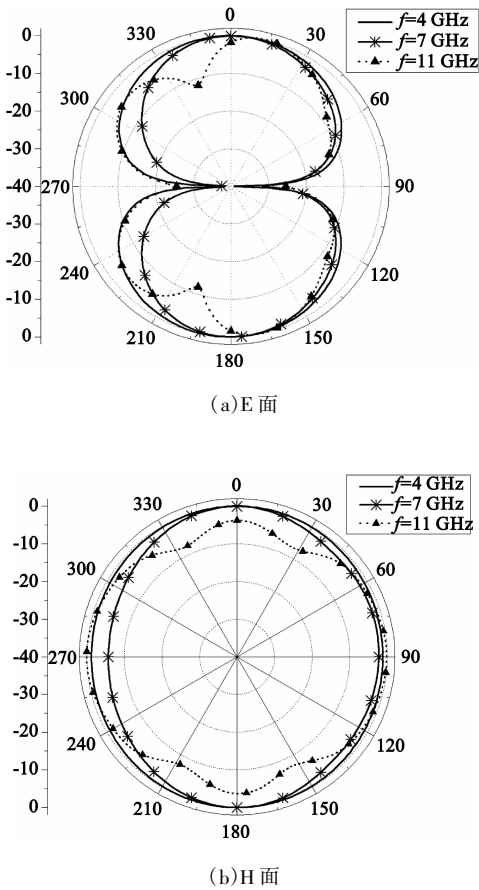


图 3 天线辐射方向图
Fig.3 Radiation pattern of the antenna

从图 3 中可以看出,此天线的 E 面方向图类似于单极子的 E 面方向图,且在 3 种情况下方向图变

化不大,一致性保持较好;其 H 面方向图在几种不同的频率下基本保持不变,均为全向辐射。整体来说,在频段高端,虽然 E 面和 H 面方向图均发生了一些畸变,但是变化较小,不足以对其应用构成威胁,因此,此天线能够满足 UWB 频段通信的要求。

4 天线带宽的展宽

在超宽带天线研究的基础上,采用一定的方法,对其带宽的展宽进行进一步的研究。依据天线的参数研究,天线辐射贴片对其带宽的影响很大,因此考虑在辐射贴片的下端,靠近馈线的部分引入矩形切口,从而改善天线的阻抗特性。先后依次引入了三对矩形凹口,即矩形凹口 1、2、3,分别研究了只引入一对、两对、三对矩形凹口时天线的阻抗特性。

图 4 为引入三对矩形凹口时的天线结构图,新增矩形尺寸为: $d_1 = 6.1\text{ mm}$, $d_2 = 8.1\text{ mm}$, $d_3 = 10.1\text{ mm}$, $l_1 = 6.9\text{ mm}$, $l_2 = 5.5\text{ mm}$, $l_3 = 4.0\text{ mm}$ 。

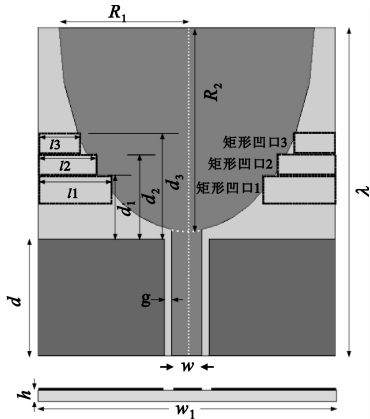


图 4 引入三对矩形凹口的天线结构图
Fig.4 Structure of the proposed antenna after introducing three pairs of rectangular notches

图 5 所示为分别引入一对、两对和三对矩形凹口时 3 种天线的回波损耗比较曲线。从图 5 中可以看出,随着矩形凹口的不断引入,回波损耗曲线变化逐渐平稳,带宽逐渐展宽,主要原因是这些矩形凹口的引入增强了该处辐射贴片的不连续性,因此能够存在多种谐振模式;同时,对于这些凹口尺寸和位置的优化,使得它起到作为馈线和辐射贴片之间阻抗匹配段的作用,改善了贴片的对地阻抗,最终仿真带宽可以覆盖 $3 \sim 31\text{ GHz}$,超过 $10:1$ 。

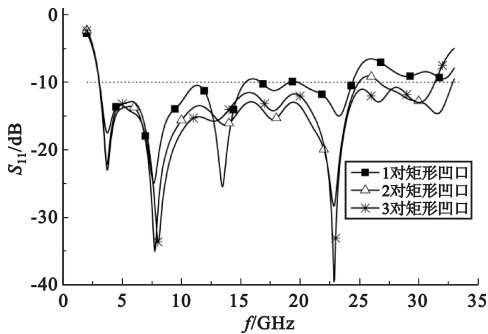


图 5 3 种天线回波损耗

Fig.5 Input return losses of the three antennas

5 测试结果

图 6 所示为加入三对矩形凹口的天线的实物图,图 7 为天线回波损耗的测量结果和仿真结果的比较。从图 7 可以看出,在 3 ~ 31 GHz 频段内,天线实测的回波损耗曲线基本处于 -10 dB 以下,不过与仿真曲线有些偏移,一部分主要是由加工误差引起的,另外 SMA 接头以及焊锡的散射效应也会对回波损耗有所影响。但在设计的频段内整体来看,回波损耗满足实际应用的要求。



图 6 天线实物图

Fig.6 Photo of the realized antenna

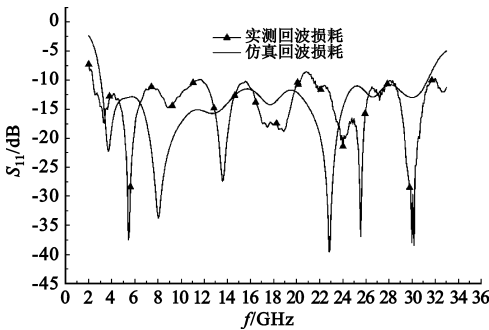
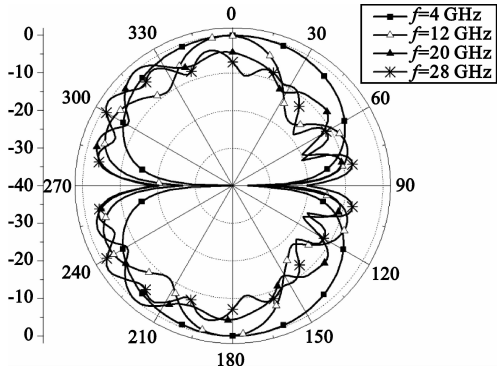


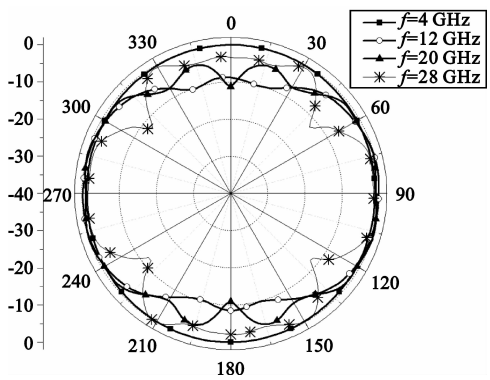
图 7 天线回波损耗实测与仿真结果

Fig.7 Simulated and measured return loss characteristics

图 8 所示为天线的辐射方向图,由于是在贴片底端的边缘上开矩形小口,因此方向图畸变比较小,与没有引入矩形凹口时天线的方向图相近。



(a)E 面



(b)H 面

图 8 天线辐射方向图

Fig.8 Radiation pattern of the antenna

图 9 所示为天线在该频段内的增益特性曲线。

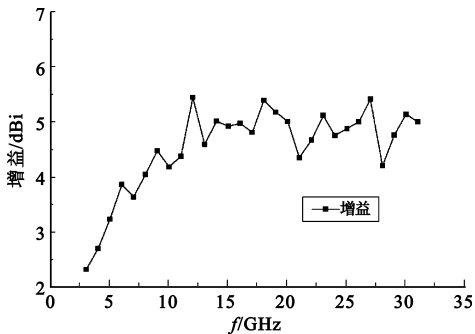


图 9 天线增益特性

Fig.9 Gain performance of the antenna

6 结 论

本文对小型印刷天线的宽带特性进行了研究,

提出了一种结构简单、实用的超宽带印刷天线,可覆盖 2.9 ~ 10.8 GHz 频段。在此基础上,通过采用在半椭圆辐射贴片底端边缘处刻蚀 3 组矩形小凹口的方法,使得天线能够产生多模式谐振,且改善了贴片的对地阻抗,从而展宽带宽,获得了覆盖 3 ~ 31 GHz、阻抗带宽超过 10:1 的极宽带天线。该天线尺寸为 31 mm × 28 mm × 0.5 mm,辐射特性良好,测试结果与仿真结果吻合较好,表明文中展宽带宽方法的有效性。且与已有文献相比,结构简单,易加工,尺寸较小,阻抗带宽更宽,可用于多种移动通信系统。此外,对于矩形凹口进行进一步的优化,可以进一步改善方向图,将在后续工作中对其展开相关研究。

参考文献:

- [1] 山团彪,雷振亚,谢拥军.超宽带盘锥天线的设计[J].电讯技术,2011,51(1):93-97.
SHAN Tuan-biao, LEI Zhen-ya, XIE Yong-jun. Design of an Ultra-Wideband Discone Antenna[J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(1): 93-97. (in Chinese)
- [2] Choi S T, Hamaguchi K, Kohno R. Small printed CPW-fed triangular monopole antenna for ultra-wideband applications[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(5): 1180-1182.
- [3] 张文梅,陈雪,韩国瑞.平面超宽带天线的设计与研究[J].电波科学学报,2008,23(2):335-339.
ZHANG Wen-mei, CHEN Xue, HAN Guo-rui. Design of planar UWB antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23(2): 335-339. (in Chinese)
- [4] Jin-Xiang Xiao, Mei-Fang Wang, Guo-jian Li. A ring monopole antenna for UWB application[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2010, 52(1): 179-182.
- [5] 吕文俊,程勇,程崇虎.共面波导馈电小型平面超宽带天线的设计与研究[J].微波学报,2006,22(4):19-23.
LV Wen-jun, CHENG Yong, CHENG Chong-hu. Design and Study of Coplanar Waveguide(CPW)-Fed Compact Planar Ultra-Wideband(UWB) Antenna[J]. Journal of Microwaves, 2006, 22(4): 19-23. (in Chinese)
- [6] Dongjin Jung, Chi-Hyung Ahn, Kai Chang. Ultra wideband CPW fed modified ring antenna[C]//Proceedings of 2009 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation Society. Charleston, SC: IEEE, 2009: 1-4.
- [7] Naser-Moghadasi M, Danideh A, Sadeghifakhr R, et al. CPW-fed ultra wideband slot antenna with arc-shaped stub [J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2009, 3(4): 681-686.
- [8] Reza Zaker, Abdolali Abdipour. A very compact ultrawide-band printed omnidirectional monopole antenna[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, 9: 471-473.
- [9] CHANG K. Encyclopedia of RF and microwave engineering [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 2005: 821-833.

作者简介:

张佳亮(1986—),男,陕西眉县人,2009年于西安电子科技大学获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为微波射频电路和天线;

ZHANG Jia-liang was born in Meixian, Shaanxi Province, in 1986. He received the B. S. degree from Xidian University in 2009. He is now a graduate student. His research interests include microwave RF circuit and antenna.

Email: zhangjialiang86@163.com

雷振亚(1960—),男,陕西西安人,1998年于西安电子科技大学获硕士学位,现为教授、硕士生导师,主要研究方向为微波无源电路、微波有源电路、微波天线及微波系统等;

LEI Zhen-ya was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1960. He received the M. S. degree from Xidian University in 1998. He is now a professor and also the instructor of graduate students. His research interests include microwave passive circuit, active circuit, antennas, microwave system, etc.

谢拥军(1968—),男,安徽滁州人,1996年获西安电子科技大学电磁场与微波技术专业博士学位,现为教授、博士生导师,主要研究方向为微波与计算电磁学、微波通信、电磁兼容及电波传播特性等;

XIE Yong-jun was born in Chuzhou, Anhui Province, in 1968. He received the Ph. D. degree from Xidian University in 1996. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research interests include microwave and computational electromagnetism, microwave communication, EMC and radio waves propagation characteristics, etc.

杨可(1987—),男,陕西咸阳人,硕士研究生,主要研究方向为天线和微波滤波器设计;

YANG Ke was born in Xianyang, Shaanxi Province, in 1987. He is now a graduate student. His research interests include antenna and microwave filter design.

文睿(1987—),男,陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向为天线和微波有源电路设计。

WEN Rui was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1987. He is now a graduate student. His research concerns antenna and microwave active circuit design.