

文章编号: 2095-4980(2016)02-0245-04

一种六边形缝隙宽带微波天线设计

谭菲菲, 黄何平, 刘长军

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要: 提出了一种适用于工业、科学、医学(ISM)频段的六边形缝隙天线的设计方法, 采用基于全波分析矩量法的电磁场仿真软件进行分析, 结果表明, 与传统的正方形缝隙天线相比, 天线的阻抗带宽由 30% 增加到了 48.5% ($|S_{11}| < -10$ dB)。进行了天线 S 参数测量, 对天线通带起始频率 5.24 GHz、谐振频率 5.8 GHz 和截止频率 8.59 GHz 三处频点的方向图进行了测量, 测量结果和仿真结果一致, 为拓展微带贴片天线带宽提供了一种新颖的方法。

关键词: 微带缝隙天线; 宽带天线; 功率合成; 微波输能

中图分类号: TN823⁺.24

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201602.0245

Design of a novel hexagon slot microwave antenna

TAN Feifei, HUANG Heping, LIU Changjun

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract: A novel hexagon slot antenna which operates at Industrial, Scientific, and Medical(ISM) band is proposed. The simulation results of method of moments based on full wave analysis indicate that the bandwidth of the proposed antenna increases from 30% to 48.5% ($|S_{11}| < -10$ dB) compared with a traditional square slot antenna. The $|S_{11}|$ of the fabricated antenna is measured. The radiation patterns at 5.24 GHz, 5.8 GHz and 8.59 GHz, which are the initial frequency, resonance frequency and cut-off frequency of the passband, respectively, are measured in a microwave chamber as well. The measured results agree well with the simulation results. This work provided a novel method to broaden the bandwidth of microstrip slot antenna.

Key words: microstrip slot antenna; broadband antenna; power combining; microwave power transmission

无线通信系统的飞速发展带来了电子科技技术的飞速发展, 各种新工艺和新材料被应用到通信电子设备中, 设备趋于小型化、智能化和宽带化发展。天线作为无线通信电子设备收发信号的关键部分, 遇到了史无前例的要求和挑战。而集成了多个系统的通信电子设备带来了更加复杂的电磁环境, 为适应现代无线通信的发展, 避免多个天线产生信号之间的耦合和干扰, 天线必须拥有与之相适应的宽频带技术。

最早的宽频带天线可以追溯到 1898 年由英国人洛奇制成的双锥天线^[1], 该天线可以看成是激励 TEM 模(横电磁波)的均匀渐变线, 因此对于输入阻抗具有很宽的频带特性, 带宽主要受限于尺寸所导致的终端反射。在此基础上, 还有 CARTER 改进的双锥天线、单锥天线, LINDENBLAD 的同轴喇叭天线, KATZIN 研制的盘锥天线, KING 设计的圆锥喇叭天线等^[2-5]。这些天线都是三维结构, 尺寸大, 难于集成。近年来, 随着微带天线技术的不断发展, 出现了许多重量轻、成本低的基于微带天线形式的小型宽带天线, 如一种在改良的圆形贴片上开缝的宽带天线^[6], 以及一种在贴片上开出相同形状不同尺寸缝隙的圆极化天线^[7]。

目前针对六边形微带天线的研究, 主要在拓宽天线频带、实现双频特性上^[8-14]。这些天线的工作频率分布在 S 波段和 C 波段, 但很少覆盖到工业、科学、医学(ISM)均可使用的公共频段。本文设计了一种覆盖 ISM 频段的微带宽缝缝隙天线, 通过仿真与实际测量结果的对比分析, 验证了该天线可有效增加工作带宽。

收稿日期: 2015-03-04; 修回日期: 2015-04-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61271330); 973 计划资助项目(2013CB328902); 新世纪人才基金资助项目(NCET-12-0383)

1 天线结构特性

微带缝隙天线具有很宽的阻抗带宽,此外,它们是完全单平面的,易于与有源器件或微波单片集成电路整合。近年来,有越来越多的关于微带缝隙天线的研究,尤其是宽缝隙天线。宽缝隙纵横比明显小于一般的窄缝隙,有时几乎等于 1。

普通的矩形缝隙天线通常只工作在一个很窄的频率范围内,这是因为其几何结构决定了只在某个频点,电流的分布满足谐振要求。具体来讲,在缝隙中,等效磁流的辐射场可以等效为一对对偶电流的辐射场,对偶电流形成驻波分布时的辐射最强,因此特定的宽度对应一个特定的谐振频点。当把缝隙形式改变为六角形,在缝隙内沿着垂直于馈线的方向,缝隙的长度有一个渐变,在谐振频点附近也能满足对偶电流的谐振要求,带宽得到了展宽。

2 六边形缝隙天线

本文设计的六边形缝隙天线如图 1 所示,其中, $a=9\text{ mm}$, $b=24\text{ mm}$, $c=21.6\text{ mm}$, $d=50\text{ mm}$, $e=22\text{ mm}$ 。采用特征阻抗为 $50\ \Omega$ 的微带线馈电,宽度 2.7 mm ,介质基板相对介电常数 2.65,基板厚度 1 mm 。采用基于全波分析矩量法的电磁场仿真软件 IE3D 分析,天线的谐振频点主要与缝隙的横向直径(图 1 中线段 b)和缝隙周长有关。因为天线上的电流由馈线进入,并沿缝隙边缘流动,而电流的流动路径决定了天线的辐射场。由于缝隙所在地面的边缘存在较强的绕射场,选择适当的基板大小可以获得较好的方向图。一般情况下,缝隙的边缘应与基板边缘至少有 0.1λ 的距离(λ 是工作频率在空气中的波长)。本设计中,基板大小为 $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 。

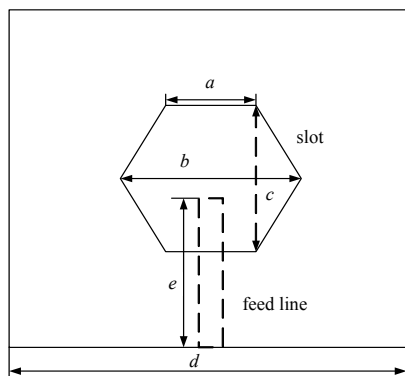


Fig.1 Structure of the hexagon slot antenna
图 1 六边形缝隙天线结构图

图 2 是六边形缝隙天线与等口径面正方形缝隙天线的 $|S_{11}|$ 的对比图。从图中可以看出,前者的带宽大于后者的带宽。表 1 给出了带宽的具体数值,从表中数据可得,六边形缝隙天线的带宽是普通方形缝隙天线的 1.8 倍。

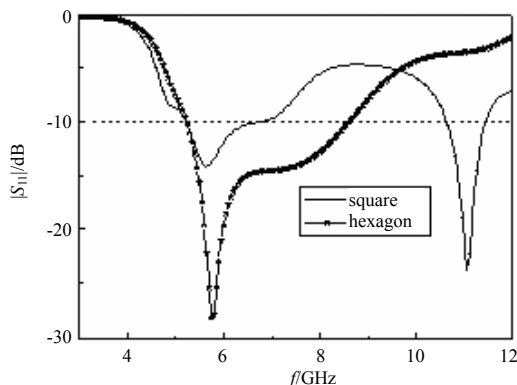


Fig.2 $|S_{11}|$ of the square and hexagon slot antenna
图 2 方形缝隙天线与六边形缝隙天线的 $|S_{11}|$

表 1 两种缝隙天线带宽

slot	impedance bandwidth		centre frequency/MHz
	MHz	%	
square	1 897	30.7	6 160
hexagon	3 352	48.5	6 915

3 测量结果及分析

加工后的六边形缝隙天线如图 3 所示。使用 Agilent N5230A 矢量网络分析仪测量天线的 $|S_{11}|$,测量结果与仿真结果对比如图 4 所示。从图中可以看出,测量结果与仿真结果吻合度很高,在 5.8 GHz 时,回波损耗为 26 dB ,阻抗带宽为 51.3% ,即 $3\,465\text{ MHz}$ 。

根据巴比涅原理,可以从已知天线的辐射特性得到其互补天线的辐射特性。介质基板很薄时,缝隙天线与相同尺寸的导体阵子天线互补,可以推出缝隙天线的主要增益在法向上。为提高缝隙天线的增益,可在背面加上一块反射板。

为分析在阻抗带宽内天线的辐射方向图性质,图 5 给出了天线通带的起始频率 5.24 GHz ,谐振频率 5.8 GHz ,通带的截止频率 8.59 GHz 时,天线的 E 面和 H 面的共面极化、交叉极化的测量结果,并与仿真结果进行比较。在这 3 个频率下,E 面和 H 面的共面极化与仿真结果吻合,交叉极化很小,方向图后瓣不大。天线的 E 面和 H 面方向图在整个频段内,都有较好的辐射特性。随着频率增加,方向图有裂变趋势,但在 8.59 GHz 时仍大致不

变。分析可知,当频率增大时,缝隙对应的电尺寸也增大,天线工作时有高次模产生,致使方向图发生开裂。理想情况下,天线的后瓣应为零,如图 5 中仿真结果所示。但在实际测量中,反射板的大小不可能是无限大,反射板与天线之间的距离也很难做到精确匹配,会存在一定的后瓣。本文使用的反射板大小为 $90\text{ mm} \times 90\text{ mm}$,反射板与天线之间的距离为半个波长。

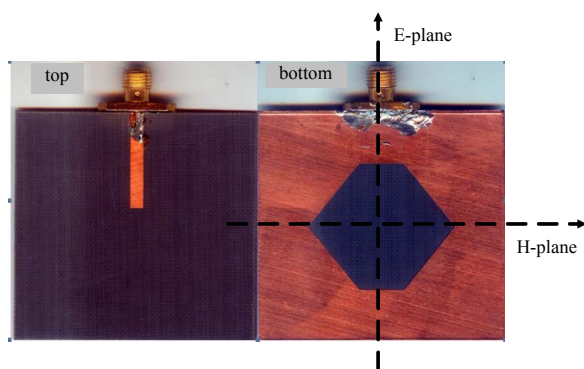


Fig.3 Fabricated hexagon slot antenna
图 3 六边形缝隙天线实物图

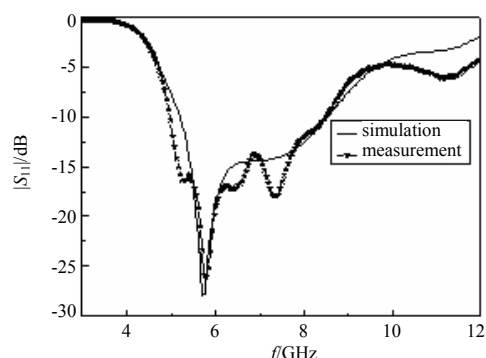
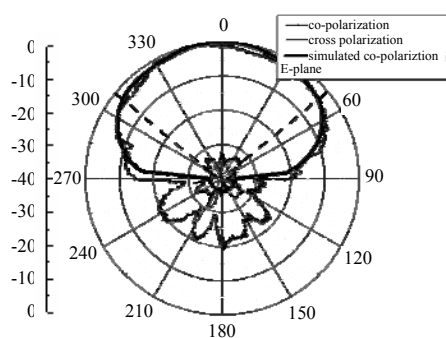
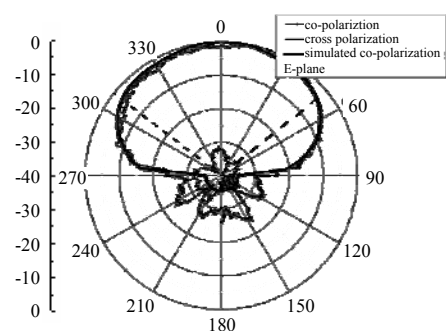
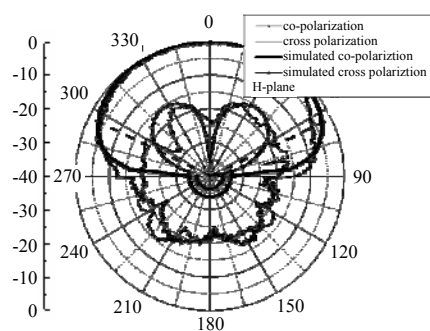


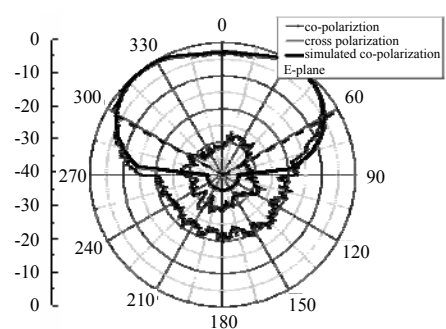
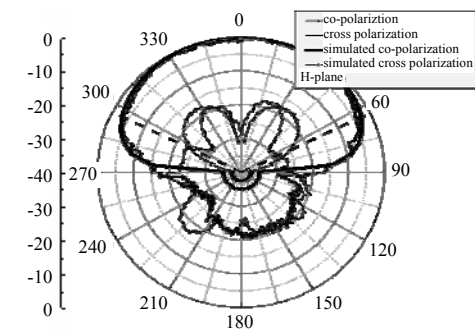
Fig.4 Simulation and measurement results of the hexagon antenna
图 4 六边形缝隙天线测量与仿真结果



(a) 5.24 GHz



(b) 5.80 GHz



(c) 8.59 GHz

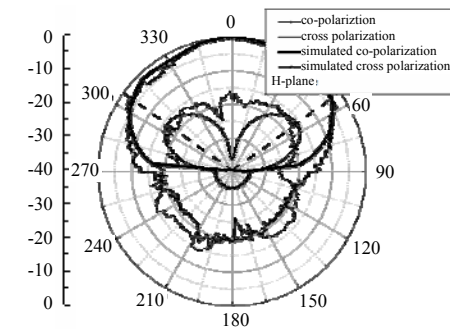


Fig.5 Radiation patterns at various frequencies
图 5 不同频率下辐射方向图

通过仿真结果和实验结果的比较可以看出,六边形缝隙天线可有效展宽天线的带宽,并且与传统方形缝隙天线相比,尺寸相当,甚至更小。

4 结论

为拓展天线的带宽,本文设计了一种新的六边形缝隙天线,在传统的方形缝隙天线基础上,改变了天线电流的流动路径,并将其加工成实物进行了测量。使用全波分析矩量法对六边形缝隙天线进行设计分析,确定了天线尺寸,并在微波暗室中对天线的回波损耗和方向图进行了测量。六边形缝隙天线在 5.24 GHz~8.59 GHz 的频率范围内,回波损耗大于 10 dB,且具有较好的方向图特性。所设计的天线可有效增加天线的阻抗带宽,具有稳定的方向图,同时具有成本低,加工简单等优点,适用于宽带短距离无线通信。

参考文献:

- [1] 钟顺时,梁仙灵,延晓荣. 超宽带平面天线技术[J]. 电波科学学报, 2007,22(2):308-315. (ZHONG Shunshi,LIANG Xianling, YAN Xiaorong. UWB planar antenna technology[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2007,22(2):308-315.)
- [2] CARTER P S. Wide Band Short Wave Antenna and Transmission Line System:2181870[P]. 1939-12-5.
- [3] LINDENBLAD N E. Wide Band Antenna:223972[P]. 1941-04-29.
- [4] KING A P. Transmission Radiation and Reception of Electromagnetic Waves:2283935[P]. 1942-05-26.
- [5] KATZIN M. Electromagnetic Horn Radiator:2398095[P]. 1946-04-09.
- [6] DESHMUKH A A,JAIN A R,RAY K P. Broadband rectangular slot cut modified circular microstrip antenna[C]// 2013 Annual IEEE India Conference. Mumbai:IEEE, 2013:1-5.
- [7] NASIMUDDIN,CHEN Zhining,QING Xianming. Slotted microstrip antennas for circular polarization with compact size[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2013,55(2):124-137.
- [8] 邓辉,钟海斌. 一种新颖可控陷波特性的超宽带天线[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014,12(3):425-427. (DENG Hui,ZHONG Haibin. A novel ultra-wideband antenna of controllable band-notched[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014,12(3):425-427.)
- [9] QIAN Kewei,TANG Xiaohong. Compact LTCC dual-band circularly polarized perturbed hexagonal microstrip antenna[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011,10(9):1212-1215.
- [10] SIDANA Y,CHAUDHARY R K,SRIVASTAVA K V. A novel dual-band hexagonal patch antenna coupled with complementary split ring resonator[C]// Microwave Conference Proceedings APMC,2012 Asia Pacific. Kaohsiung:IEEE, 2012:1343-1345.
- [11] DUBEY M,BHATNAGAR D,SAXENA V K,et al. Broadband dual frequency hexagonal microstrip antenna for modern communication systems[C]// ELECTRO '09. International Conference on. Varanasi:IEEE, 2009:303-306.
- [12] SAMANTA M,DAS S. Circularly polarized hexagonal microstrip antenna for Bluetooth application[C]// Antenna Week(IAW), 2011 Indian. Kolkata:IEEE, 2011:1-3.
- [13] KARTHIKEYA G S,KAUNDINYA S,HARIPRASAD S A. Dual band hexagonal microstrip antenna loaded with hexagonal and cylindrical EBG[C]// 2014 IEEE Fifth International Conference on Communications and Electronics. Danang:IEEE, 2014:385-390.
- [14] ZHAO Kainan,SUN Jiawen,CHEN Wenhua,et al. A frequency reconfigurable hexagonal patch antenna with switchable slot[C]// 2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Charleston,SC:IEEE, 2009:1-4.

作者简介:



谭菲菲(1989-),女,四川省绵阳市人,在读博士研究生,主要研究方向为通信与信息系统、无线通信与电磁兼容.email:tffcool2007@126.com.

黄何平(1987-),女,河南省南阳市人,在读博士研究生,主要研究方向为电路与系统、无线电物理.

刘长军(1973-),男,河北省邢台市人,教授,博士生导师,主要研究方向为电磁场与微波技术.