

P波段小型化锯齿缝隙超宽带天线设计

郭蓉, 曹祥玉, 李思佳, 张昭, 徐雪飞

(空军工程大学信息与导航学院, 陕西西安, 710077)

摘要 设计了一种P波段小型化超宽带天线。该天线采用微带线对五边形辐射单元进行馈电, 接地板上蚀刻了锯齿形边沿的矩形宽缝。通过天线参数的仿真优化, 最终实现了相对带宽约95%、尺寸为 $0.27\lambda \times 0.17\lambda$ (λ 为低频点的自由空间波长)的超宽带P波段小型化印刷天线。仿真结果表明: 天线的工作频带为300.5~848.8 MHz, 带内回波损耗均在-10 dB以下, 整个频段内天线的增益均在3 dBi以上, 天线为全向辐射。该天线具有平面结构, 形状简单, 易于共形的特征。最后制作了天线样件并进行了测试, 测量结果与仿真结果吻合较好。

关键词 印刷宽缝天线; 小型化; P波段; 超宽带

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.03.016

中图分类号 TN82 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)03-0066-05

A Design of P-band Miniaturized Saw-tooth-edged Ultra-wideband Antenna

GUO Rong, CAO Xiang-yu, LI Si-jia, ZHANG Zhao, XU Xue-fei

(Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: A miniaturized ultra-wideband antenna is designed in P band. The antenna is fed by a pentagon coupled feeding structure. An improved rectangular slot with saw-tooth edge is etched on the ground. The results of parameters show that the bandwidth of the designed antenna is 293.4~830.3 MHz with relative bandwidth 95% and the return loss is less than -10 dB. The size of the antenna is (is the wavelength of the lowest frequency). The average gain is over 3dBi in the operating range and the antenna is a kind of omni antenna. The antenna is a planar construction and is simple in shape and easy in conformation. A sample antenna is fabricated and tested. The experimental results are in good agreement with the simulation results.

Key words: printed wide-slot antenna; miniaturization; P band; ultra-wideband

工作于P波段的超宽带雷达(UWB SAR)具有很强的叶簇穿透能力, 并能够探测地表下的隐蔽物。国际上至今已有多个P波段的机载SAR系统, 如FOA的CARABAS^[1], SRI的FOLPEN^[2]系列等。

国内也进行了P波段轨道超宽带SAR和机载超宽带SAR的研究和实验^[3-1]。

目前, 工作在P波段(230~1 000 MHz)的天线主要形式有蝶形天线、印刷偶极子天线、印刷单极子

收稿日期: 2013-11-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61271100); 陕西省自然科学基金资助项目(2010JZ010; 2012JM8003); 国家重点实验室基金资助项目(20131007)

作者简介: 郭蓉(1990-), 女, 陕西咸阳人, 硕士生, 主要从事微带天线研究. E-mail: beryflying@163.com

* 通信作者: 曹祥玉(1964-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事天线与电磁兼容、电磁超材料等研究. E-mail: gjgj9694@163.com

引用格式: 郭蓉, 曹祥玉, 李思佳, 等. P波段小型化锯齿缝隙超宽带天线设计[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2014, 15(3): 66-70. GUO Rong, CAO Xiangyu, LI Sijia, et al. A design of P-band miniaturized saw-tooth-edged ultra-wideband antenna[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(3): 66-70.

天线,以及微带贴片天线。文献[5]中采用口径耦合理论和多层贴片结构实现宽带,但是这种天线形式的相对带宽不超过31%,而且尺寸较大。文献[6]为使天线在低频端获得宽带特性,采用了印刷偶极子天线和改进的巴伦馈电,并在接地板开槽来拓展带宽,其相对带宽可达40%(530~790 MHz)。文献[7]中设计的蝶形天线将传统的三角形两侧切割为平行线,相对带宽84.4%(260~640 MHz)。印刷单极子天线可以获得90%以上的带宽^[9],而且尺寸更小,易于制作。以印刷单极子天线为基础,在其接地板上开矩形、椭圆形或者其他形式的槽可以使带宽的极大拓展,而且辐射性能较好,在超宽带天线中应用广泛^[10-11]。

为了设计易于共形的P波段超宽带天线,本文提出了一种印刷宽缝天线。通过对天线参数进行仿真优化,加工实物并测试,得到的实测结果与仿真结果吻合较好。

1 天线单元设计

天线单元结构见图1,天线的介质板为相对介电常数2.65,厚度4 mm的聚四氟乙烯玻璃布板,其正面为五边形辐射贴片,背面为锯齿形边沿的矩形缝隙。天线通过50 Ω 微带侧馈线实现馈电。

辐射贴片底边的斜率会影响天线的宽带阻抗匹配,而矩形缝隙的尺寸会影响阻抗匹配带宽和低端频率。在矩形缝隙上沿和下沿增加调谐枝节,可以增大接地板与馈电结构的耦合电容,使低端谐振频率下降,减少因尺寸减小引起的高端频率匹配恶化现象。矩形缝隙的两边沿锯齿形结构能影响电流分布,在保证辐射性能的同时可以减小天线的尺寸。

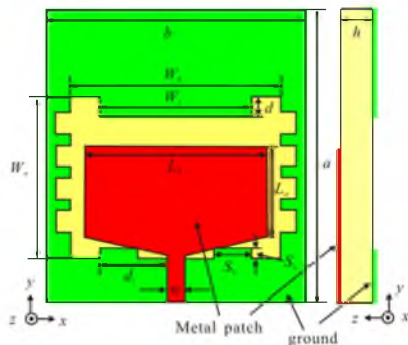


图1 天线结构图

Fig.1 Structure of antenna

图2为辐射贴片底边不同斜率对天线宽带阻抗匹配的影响。为了实现宽阻抗匹配,需选取合适的底边斜率以扩展带宽。从图中可以看出,随着角度 θ 的增大,匹配阻抗先变好后变差,在 $\theta=20^\circ$ 左右时

效果比较好。

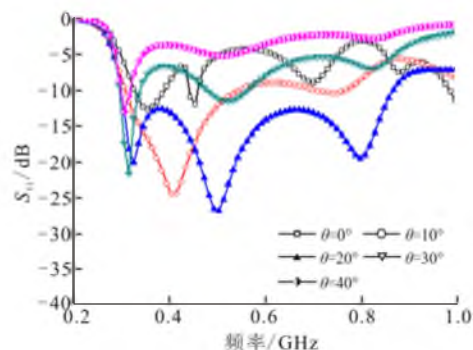


图2 底边斜率不同时的比较结果

Fig.2 The comparison of slopes of bottom margin

图3为接地板缝隙的长度 W_b 不同时对天线宽带阻抗匹配的影响。从图中可以看出,随着 W_b 增大,低端频率降低,低端阻抗匹配变差而高端阻抗匹配变好。

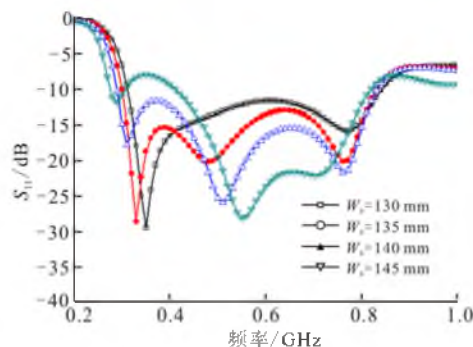


图3 缝隙尺寸不同时的比较结果

Fig.3 The comparison of slot size

图4为矩形缝隙的上下2个调谐枝节仿真结果。图4(a)中随着上沿调谐枝节长度 d 的增大,低端阻抗匹配逐渐变差而高端阻抗匹配逐渐变好,高端谐振点逐渐靠近。图4(b)中随着缝隙下沿对称调谐枝节间距 d_t 增大,低端反射系数增大而高端反射系数先减小后增大。图4(c)可以看出增大调谐枝节的长度 S_a 可以使相邻谐振点的耦合更加紧密,改善阻抗匹配。

图5(a)为天线尺寸在完全相同的情况下矩形缝隙左右两边沿分别为直线和锯齿形时回波损耗的仿真结果比较。从图中可以看出锯齿形边沿随着频率越来越高回波损耗越好,而且最低频率(< -10 dB)也比直线型边沿小。因此可以看出,锯齿形边沿能较好的改善高端阻抗匹配。图5(b)为天线采用介电常数为2.65的介质板时,厚度 h 分别为2 mm、4 mm、6 mm时的回波损耗的比较。随着厚度 h 的增大,回波损耗越来越好,但是 h 增大到一定程度阻抗匹配会逐渐变差。

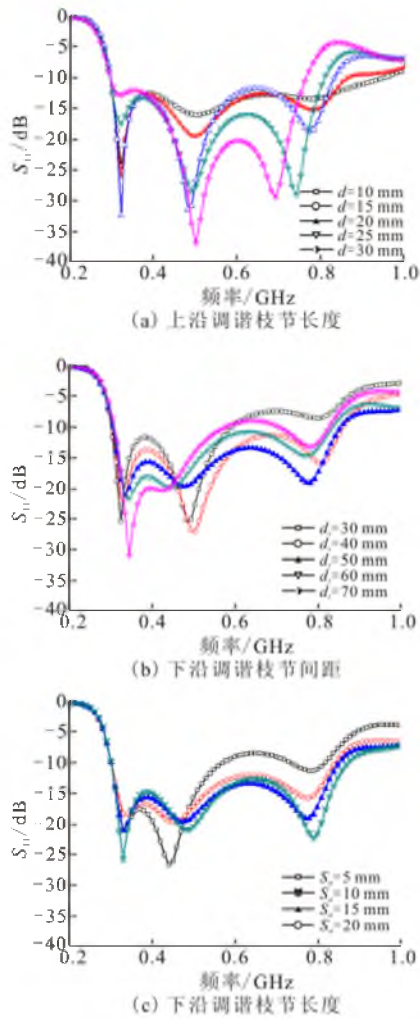


图4 调谐枝节的参数优化

Fig.4 Parameters optimization of tuning

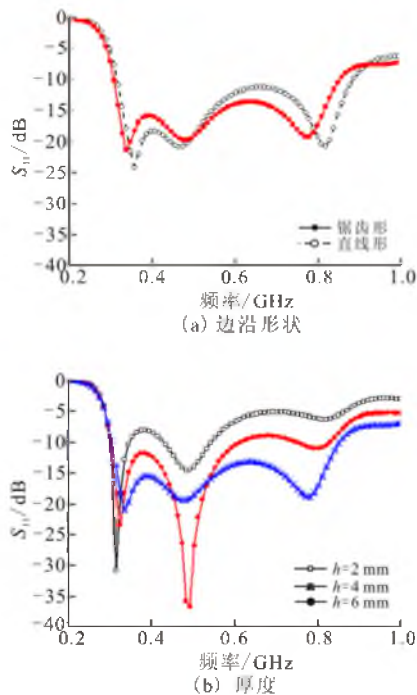


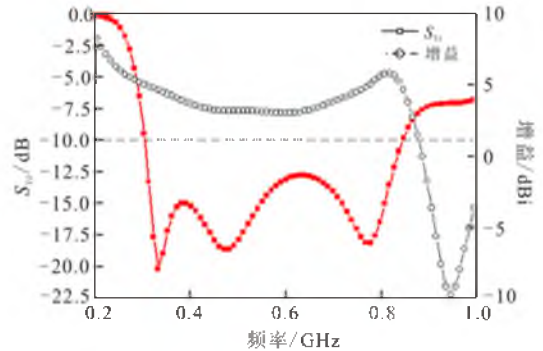
图5 边沿形状和厚度的仿真结果

Fig.5 The simulation of edge shape and thickness

2 仿真结果

根据前面的仿真结果,利用 HFSS 对天线进行仿真优化,最后确定了天线的最佳尺寸为 $a=270$ mm, $b=170$ mm, $W_a=135$ mm, $W_b=150$ mm, $W_t=100$ mm, $d=20$ mm, $L_a=83$ mm, $L_b=120$ mm, $d_t=50$ mm, $S_a=12$ mm, $S_b=25$ mm, $w=11$ mm, $h=4$ mm。

图6为天线 S_{11} 和增益的仿真结果,以回波损耗 -10 dB 为标准,天线的相对带宽为 95%,天线在 300.5~848.8 MHz 频带范围内的平均增益都在 3 dBi 以上。

图6 S_{11} 仿真结果图Fig.6 The simulation result of S_{11}

3 实测结果

天线实物图见图7。利用 Agilent N5230C 矢量网络分析仪对天线的 S_{11} 、增益进行测量,测试结果见图8~图9。从图中可以看出,在整个频带范围内反射特性与仿真结果基本吻合,产生差异的主要原因是辐射单元和宽缝的相对位置、焊接工艺以及测量环境。

图10~图12为天线在 0.32 GHz、0.52 GHz 和 0.72 GHz 时 E 面和 H 面辐射方向图。从图中可以看出,天线在 H 面的方向图接近全向辐射。



图7 天线实物图

Fig.7 Antenna figure

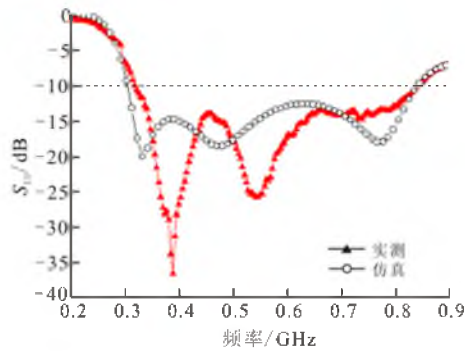


图 8 S₁₁ 实测与仿真结果比较

Fig.8 The comparison of simulation and experimental results of S₁₁

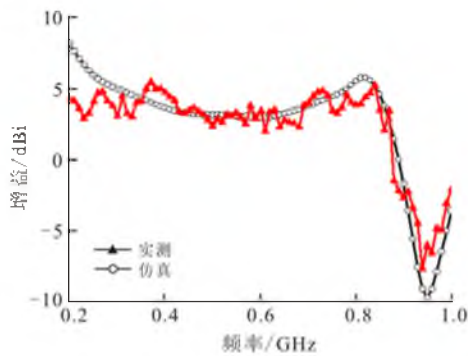


图 9 增益实测与仿真结果比较

Fig.9 The comparison of simulation and experimental results of S₁₁

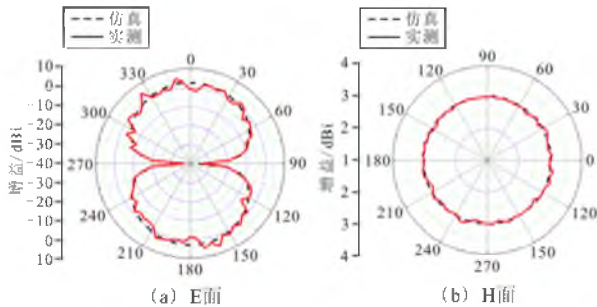


图 10 $f=320$ MHz 时辐射方向图

Fig.10 Radiation figure at $f=320$ MHz

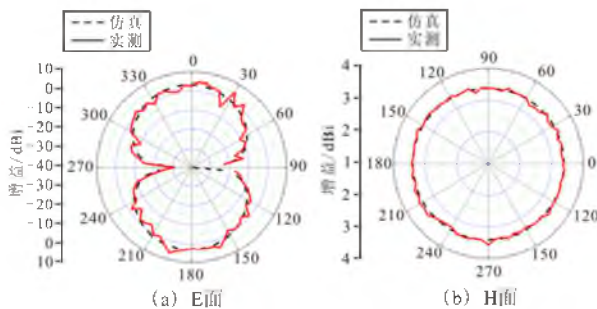


图 11 $f=520$ MHz 时辐射方向图

Fig.11 Radiation figure at $f=520$ MHz

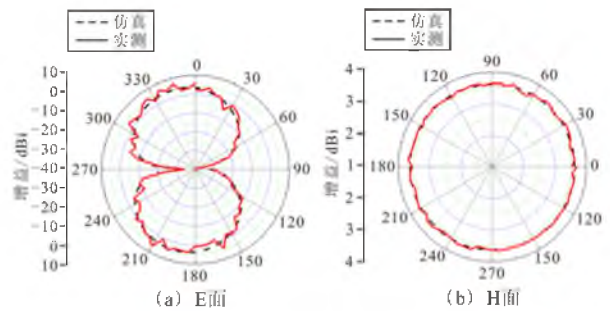


图 12 $f=720$ MHz 时辐射方向图

Fig.12 Radiation figure at $f=720$ MHz

4 结语

文中设计了一种 P 波段小型化超宽带天线,该天线尺寸为 $0.27\lambda \times 0.17\lambda$,在整个工作频带在 $300.5 \sim 848.8$ MHz 内,相对带宽约 95%,回波损耗均在 -10 dB 以下,驻波系数小于 2,增益平均在 3 dBi 左右。由于所设计的天线是 H 面全向辐射,而且具有平面结构,易于组阵并与飞行器共形。所以该天线是一种具有实用价值的小型化 P 波段超宽带天线。

参考文献 (References):

- [1] Hellsten H O, Frolind P O, Gustavsson A, et al. Ultra wide band VHF SAR design and measurements [C]//Proc SPIE,2217.Orlando, FL:[s.n.],1994: 16-25.
- [2] Vicker R S. Design and applications of airborne radars in the VHF/UHF band[J].Aerospace and electronic system magazine,2002,17(6):26-29.
- [3] 常文革,梁甸农,周智敏.轨道超宽带 SAR 实验技术研究[J].电子学报,2001, 29(9): 1213-1216. CHANG Wenge, LIANG Diannong, ZHOU Zhimin. Research on Rail-UWB-SAR[J]. Acta electronica sinica, 2001, 29(9): 1213-1216. (in Chinese)
- [4] 方学立,梁甸农,王红岗,等.一种 UWBSAR 图像中的非均匀背景 CFAR 检测方法[J].遥感学报,2006, 10(3):178-183. FANG Xueli, LIANG Diannong, WANG Honggang, et al. A CFAR detection method for nonhomogeneous environment in UWBSAR image[J]. Journal of remote sensing, 2006,10(3): 178-183. (in Chinese)
- [5] 赵后亮,尹家贤.一种 P 波段宽带双极化微带天线阵列[J].雷达科学与技术,2012,10(5):557-560. ZHAO Houliang, YIN Jiaxian. A broadband dual-polarized microstrip antenna array at P band [J]. Radar science and technology, 2012, 10(5): 557-560. (in Chinese)
- [6] 王善进,杨雷,陈琼,等.一种宽带 UHF 印刷偶极子天线的设计[J].微波学报,2013, 9(2):30-34.

- WANG Shanjin, YANG Lei, CHEN Qiong, et al. Design of a wideband UHF printed dipole antenna [J]. Journal of microwaves, 2011, 9(2): 30-34. (in Chinese)
- [7] 郭晨, 刘策, 张安学. 探地雷达超宽带背腔蝶形天线设计与实现[J]. 电波科学学报, 2010, 25(2): 221-226.
GUO Chen, LIU Ce, ZHANG Anxue. Design and implement of an UWB bow-tie antenna with backcavity for ground penetrating radar[J]. Chinese journal of radio science, 2010, 25(2): 221-226. (in Chinese)
- [8] Vicente González-Posadas, Carlos Martín-Pascual, José Luis Jiménez-Martín, et al. Lumped-element balun for UHF UWB printed balanced antennas[J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 2008, 56(7): 2102-2107
- [9] YAN Xiaorong, ZHONG Shunshi, WANG Guoyu. Compact hollowed printed monopole antenna with extremely widebandwidth [J]. Microwave and optical technology letters, 2007, 49(11): 2883-2885.
- [10] 官伯然, 曹建伟. 一种小型超宽带微带天线[J]. 微波学报, 2011, 27(2): 60-62, 92.
GUAN Boran, CAO Jianwei. A small size ultra-wideband microstrip antenna[J]. Journal of microwaves, 2011, 27(2): 60-62, 92. (in Chinese)
- [11] 陈董, 程崇虎. 宽缝结构超宽带天线的研究[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2006, 26(2): 72-75.
CHEN Dong, CHENG Chonghu. The study of ultra-wideband wide slot antennas[J]. Journal of Nanjing university of posts and telecommunications: natural science edition, 2006, 26(2): 72-75. (in Chinese)

(编辑: 徐楠楠)

(上接第9页)

- [7] 张志刚, 王百争, 王和平, 等. MA60 飞机高原机场起飞性能研究[J]. 飞行力学, 2006, 24(4): 65-69.
ZHANG Zhigang, WANG Baizheng, WANG Heping, et al. Research on take-off performance of the MA60 aircraft at plateau airport[J]. Flight dynamics, 2006, 24(4): 65-69. (in Chinese)
- [8] 宋花玉, 蔡良才. 飞机起飞航迹计算中发动机推力计算方法[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(2): 59-63.
SONG Huayu, CAI Liangcai. Computational method of engine thrust in aircraft take-off track calculation [J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2010, 10(2): 59-63. (in Chinese)
- [9] 赵永平, 孙健国. 最小二乘支持向量回归机在发动机推力估计中的应用[J]. 航空动力学报, 2009, 24(6): 1420-1425.
ZHAO Yongping, SUN Jianguo. Aeroengine thrust estimation using least squares support vector regression machine[J]. Journal of aerospace power, 2009, 24(6): 1420-1425. (in Chinese)
- [10] 薛宏涛, 王克波. 基于超障性能模型的军用飞机超障规划与计算[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(5): 1837-1840.
XUE Hongtao, WANG Kebo. Military aircraft takeoff and landing planning and computing based on performance model [J]. Computer engineering and design, 2011, 32(5): 1837-1840. (in Chinese)
- [11] 余晓京, 何国强, 李江, 等. 涡流阀式变推力发动机性能影响因素数值研究[J]. 西北工业大学学报, 2009, 27(2): 178-183.
YU Xiaojing, HE Guoqiang, LI Jiang, et al. Calculating effects of relevant parameters on vortex valve control of variable thrust SMR[J]. Journal of northwestern polytechnical university, 2009, 27(2): 178-183. (in Chinese)
- [12] Trani Antonio A. Advisory circular (AC): runway length estimation(150/5325-4)[R]. U S department of transportation: federal aviation administration (FAA), 2005.
- [13] 蔡良才, 王声, 郑汝海, 等. 飞机起飞着陆航迹测试与分析[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2002, 32(2): 264-267.
CAI Liangcai, WANG Sheng, ZHENG Ruhai, et al. Test and analysis of airplane s running track in taking off and landing [J]. Journal of southeast university: natural science edition, 2002, 32(2): 264-267. (in Chinese)

(编辑: 徐敏)