

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105660

## 新型小型化 SWB 定向天线\*

胡 泉 陈 星

(四川大学 电子信息学院 成都 610064)

**摘要:** 设计了一款兼具小型化、超级宽带(SWB)和定向辐射性能的新型单极子天线。该天线通过对辐射板等分切角设计,提高了高频阻抗带宽的同时缩小天线尺寸;采用短路片加载技术,通过在辐射板和金属地之间增加两只短路片拓展了低频带宽,进一步实现天线小型化,结合等分切角设计获得了超级宽带;通过角反射器和倾斜辐射板实现定向辐射。设计并加工制作了天线样品,仿真和测试表明,不包括/包括反射面的天线尺寸分别为  $0.18\lambda \times 0.15\lambda \times 0.13\lambda$  和  $0.18\lambda \times 0.26\lambda \times 0.31\lambda$ ,其中  $\lambda$  为天线工作频段低端对应波长;其  $|S_{11}| < -10$  dB 的阻抗带宽比达到  $25.7:1$  ( $0.97 \sim 25$  GHz);具有良好定向辐射方向图,在工作频段内实际增益约  $1.6 \sim 11.3$  dBi。天线结构简单,其良好性能使其在宽带无线通信等领域有重大应用前景。

**关键词:** 单极子天线;super-wideband;小型化;定向天线

中图分类号: TN822+.8 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.1025

## A novel miniaturized unidirectional antenna for SWB applications

Hu Xiao Chen Xing

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

**Abstract:** A novel monopole antenna possesses miniaturization, super-wideband (SWB) and unidirectional properties simultaneously is proposed. The antenna is designed to increase the high-frequency impedance bandwidth while reducing the antenna size through the equal cutting angle design of the radiating plate; the short-circuit plate loading technology is adopted to expand the low-frequency bandwidth by adding two short-circuit plates between the radiating plate and the metal ground, and further realize the miniaturization of the antenna, combined with the equal slit angle design to obtain a super broadband; through the corner reflector and inclined radiation plate to achieve unidirectional radiation. The antenna sample was designed and processed. Simulation and testing showed that the antenna size without/including the reflective surface was  $0.18\lambda \times 0.15\lambda \times 0.13\lambda$  and  $0.18\lambda \times 0.26\lambda \times 0.31\lambda$ , where  $\lambda$  is the low end of the antenna working frequency band corresponding wavelength; its  $|S_{11}| < -10$  dB impedance bandwidth ratio reaches  $25.7:1$  ( $0.97 \sim 25$  GHz); it has a good unidirectional radiation pattern, and the actual gain in the working frequency band is about  $1.6 \sim 11.3$  dBi. The antenna structure is simple, and its good performance makes it have great application prospects in the fields of broadband wireless communication.

**Keywords:** monopole antenna;super-wideband;miniaturization;unidirectional antenna

## 0 引 言

随着高速互联网和高容量数据通信的快速发展,通信系统对天线的带宽需求越来越大,大量宽带和超宽带(ultra-wideband, UWB)天线被研制和广泛应用。20世纪60年代,由 Rumsey 首次提出了超级宽带(super-wideband, SWB)的概念,它特指阻抗带宽比大于  $10:1$ 。由于其超宽的频带范围可以覆盖大多数频段,当前 SWB 天

线设计已成为天线领域研究热点之一<sup>[1-4]</sup>。

许多无线通信应用中,要求 SWB 天线具有小型化和定向辐射<sup>[5-7]</sup>性能。而现有能满足定向 SWB 天线中,例如对数周期天线<sup>[8-9]</sup>,TEM 喇叭天线<sup>[10-11]</sup>和 Vivaldi 天线<sup>[12-13]</sup>等,为了达到良好的天线性能,它们的尺寸较大,电尺寸约  $1/2$  波长或更大,并且部分天线还存在结构复杂,加工困难、造价高等问题,而平面螺旋天线<sup>[14-16]</sup>,平面单极子天线<sup>[17-20]</sup>等多种 SWB 天线,它们的方向图为全向或类全向,

收稿日期:2021-01-15

\* 基金项目:四川省重点研发项目(2019YFG0404)资助

不具备定向辐射性能。

2011 年,墨西哥研究者 Peyrot-Solis 等<sup>[21]</sup>提出了一种结构简单的超宽带单极子定向天线,表明全向超宽带平面单极子天线的设计方法可用于定向天线,通过在梯形辐射板与地面平面之间引入倾斜角来获取方向特征,并通过角反射器实现定向辐射。所设计的天线  $|S_{11}| < -10$  dB 的阻抗带宽比达到了 6.6 : 1,天线最大尺寸为  $0.57\lambda$  (其中  $\lambda$  为天线工作频段低端对应波长)。文献<sup>[21]</sup>虽然展示了单极子天线在超宽带定向天线的运用潜力,但是阻抗带宽比尚未达到 SWB 天线水平,并且存在天线尺寸大的问题。

因此,针对当前 SWB 定向天线设计存在的不足,通过对比研究选取了上文中结构简单的单极子定向天线作为基础,对其小型化和进一步拓展带宽。本文通过对辐射板等分切角设计,提高了高频阻抗带宽的同时缩小天线尺寸;采用短路片加载技术,通过在辐射板和金属地之间增加两只短路片有效拓展了低频带宽,进一步实现天线小型化,结合等分切角设计获得了超级带宽;通过倾斜辐射板实现定向辐射,从而实现小型化 SWB 定向天线。

### 1 天线结构的分析和设计

本文设计的天线结构如图 1 所示,参数如表 1 所示。天线由 4 部分组成:倾斜放置的对称多边形辐射板、连接辐射板和地板之间的两片垂直金属板、由地板和垂直放置在天线背部的金属板组成的角反射器以及馈电部分。该天线为全金属结构,天线尺寸为  $58.8 \text{ mm} \times 48 \text{ mm} \times 43 \text{ mm}$ ,反射板尺寸为  $96 \text{ mm} \times 82 \text{ mm}$ 。

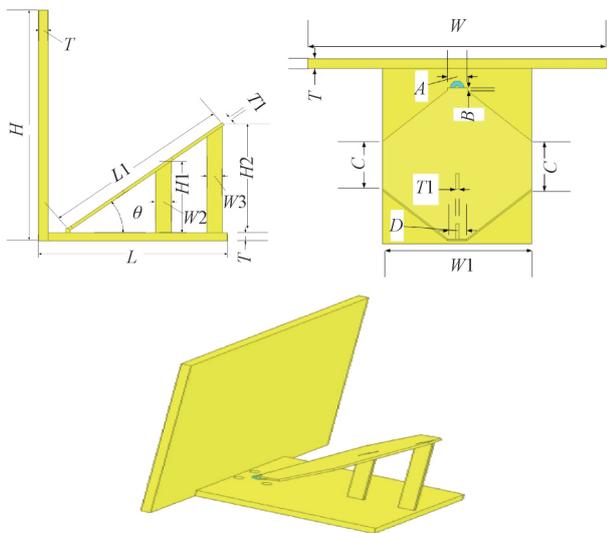


图 1 天线结构及参数

首先在地板上倾斜放置辐射板,通过在辐射板与地板之间引入倾斜角来获取方向特征,辐射板和地板之间的夹角为  $38^\circ$ 。为了获得更加优良的宽频带特性,对倾斜放置的

表 1 天线参数

mm

参数	数值	参数	数值	参数	数值	参数	数值
W	96.5	L	58.8	A	6.3	H	82.0
W1	48.0	L1	61.0	B	1.1	H1	26.7
W2	6.2	T	3.0	C	19.2	H2	40.0
W3	6.2	T1	1.0	D	6.2	$\theta$	$38^\circ$

辐射板形状进行重新设计,通过对梯形辐射板进行等分切角处理,改进为对称多边形辐射板。仿真结果显示这种新型的辐射板形状一方面可以有效缩小辐射板横向尺寸,另一方面在高频部分达到更好的阻抗匹配。如图 2 所示,相比文献<sup>[21]</sup>中的梯形辐射板,对称多边形辐射板可以在高频部分实现更宽带宽,阻抗带宽比由之前的 6.6 : 1 提高到 11.3 : 1,辐射板尺寸缩小 1.4 倍。

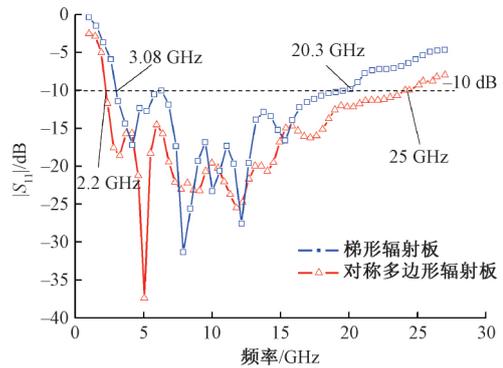


图 2 不同形状辐射板  $S_{11}$  对比

其次采用短路加载技术,进一步实现天线小型化。通过在对称多边形辐射板和地板之间添加两片垂直金属片,由于金属板和地板之间相当于存在一个较大的电容,低频部分阻抗呈现容型,通过加入两根短路片有效增加低频部分的感性阻抗,并增加电流的流动路径,一方面拓展低频带宽缩小天线尺寸,另一方面短路片也作为天线辐射板的支撑结构。如图 3 所示,定义较短短路片为 1 号,较长短路片为 2 号,天线在未加入短接片的情况下最低频率为 2.2 GHz,分别加入其中一根短路片后均能在低频出现新的谐振点,但是难以联通两个频带实现更宽带宽,同时加入两个短路片后,低频出现一个良好的谐振点,最低频点由 2.2 GHz 降低到 0.97 GHz。

然后通过设计角反射器,实现天线的定向辐射性能。电小天线通常为类全向辐射方向图,因此在天线背部增加一只反射板,背板和地板组成一只角反射器,从而实现良好定向辐射,背板尺寸为  $0.31\lambda \times 0.26\lambda$ 。

最后为馈电部分,本文设计的天线馈电结构简单,采用  $50 \Omega$  的同轴线从底部进行馈电,倾斜放置的对称多边形金属板底部直接与微带转接头 (sub-miniature-A, SMA) 内导体相连, SMA 外导体连接金属地板。

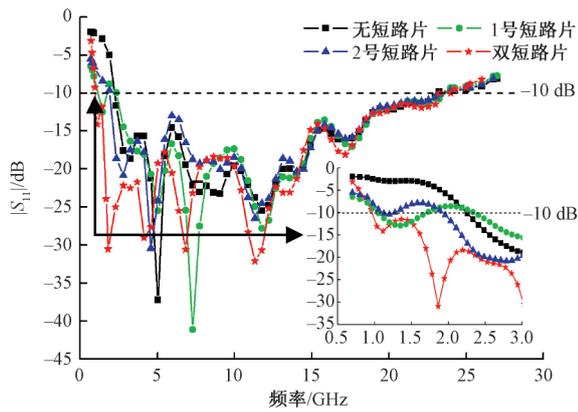


图 3 有无短路片的  $S_{11}$  仿真结果对比

## 2 天线的仿真与测试结果

加工制作了天线样品,天线实物如图 4 所示。通过对天线进行仿真和实测,结果表明该天线可以在 0.97 ~ 25 GHz 的频带内工作,阻抗带宽比为 25.7 : 1,具有优良的 SWB 天线特性。仿真和实测的对比结果如图 5 所示,图中显示,仿真与测试结果总体吻合较好,但存在一些差异,其中高频段差异比低频段差异明显。分析原因主要是加工误差和焊接工艺造成的,而且测试的实验室环境也对测试结果产生了一定的影响。

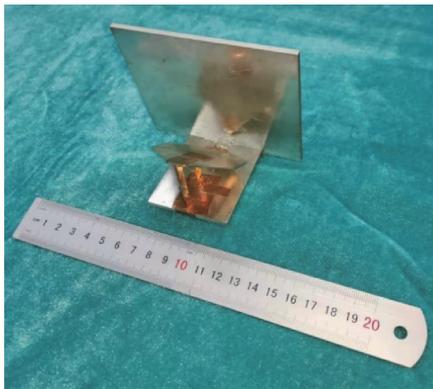


图 4 天线加工实物

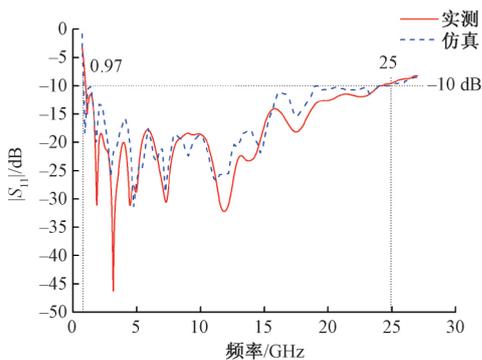


图 5  $S_{11}$  的仿真结果和实测结果

图 6 是天线在不同频率下水平面和俯仰面方向图的仿真与实测结果,由图 6 可知,天线仿真和实测结果吻合良好,高频定向性良好,整体波束较宽,但是主瓣中部有少量凹陷,主要原因一方面是高频电流在辐射板顶部汇集,出现部分辐射相互抵消从而造成波束凹陷,另一方面短路片结构也会对主瓣波束有一定影响。

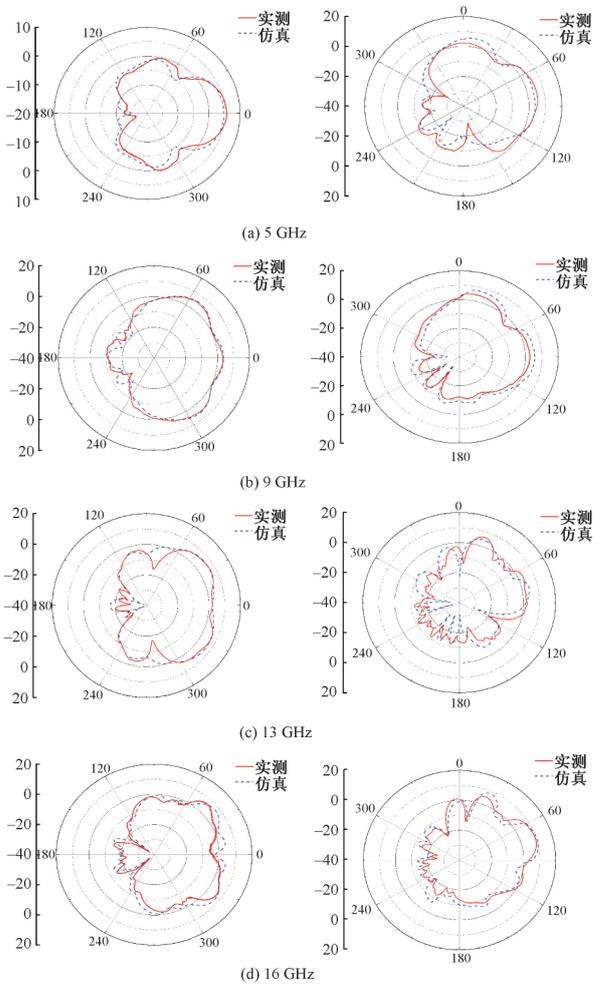


图 6 不同频率仿真实测对比(左为水平面,右为俯仰面)

图 7 为天线增益随频率的变化图,从图中可以看出天

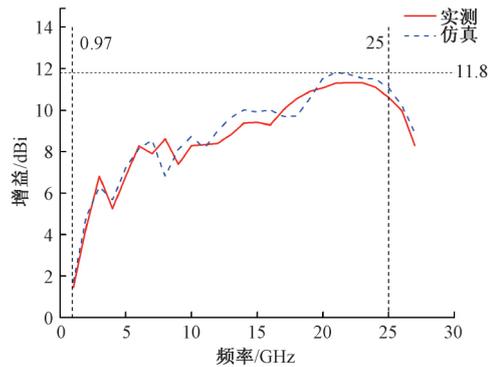


图 7 天线增益曲线

线在其频带内增益均大于 0 dBi,最低频点 0.97 GHz 增益为 1.6 dBi,天线增益随着频率的升高不断增加,在 21 GHz 达到最大值 11.3 dBi,之后逐渐趋于降低。在阻抗带宽内增益范围为 1.6~11.3 dBi。实测结果相比仿真结果低 0.5 dBi 左右,分析主要原因来自于天线自身损耗和测试误差。

### 3 结 论

本文提出了一种新型小型化 SWB 定向单极子天线。该天线通过对倾斜辐射板等分切角设计和加载短路片技术,实现天线小型化的同时获得了超级带宽 SWB,并通过角反射器实现定向辐射。仿真和测试结果表明天线具有 SWB 天线的特性,其阻抗带宽比达到了 25.7:1(0.97~25 GHz),相比文献[21]中的天线提高了 3.9 倍;天线最大尺寸缩小了 3.1 倍,反射板最大尺寸缩小了 1.8 倍。天线在整个工作频段范围内定向辐射特性稳定,实现了小型化的同时具有优越的超宽带特性,适用于短波系统、探地雷达系统、超宽带通信系统。

### 参考文献

- [1] ABBAS A S, ABDELAZEEZ M K. A dual band notch planar SWB antenna with two vertical sleeves on slotted ground plane [C]. IEEE International Symposium on Antennas & Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2016; 2131-2132.
- [2] RAHEJA D K, KANAUIA B K. A CPW fed elliptical SWB antenna with dual band elimination[C]. 2019 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks(SPIN), 2019; 1014-1017.
- [3] LIU J, ESSELLE K P, HAY S G, et al. A compact super-wideband antenna pair with polarization diversity[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2013, 12(3):1472-1475.
- [4] 廖梦婷,朱守正. 平面单极子天线馈电方法的设计与研究[C]. 2011 年全国微波毫米波会议论文集(上册), 2011; 545-547.
- [5] 张波. 于随机模糊测度的高铁通信定向天线最优算法[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(9):42-46.
- [6] 姚遥,夏长林,李琼. 波先验知识未知场景下 MIMO 雷达收发联合优化[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(6):117-123.
- [7] 韩首榜,董明利,孙鹏,等. 遥感卫星外壳摄影测量网络定向方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(4): 200-207.
- [8] 杜国伟,胡明春,刘明昱. 一种利用 LTCC 技术的超宽带印刷对数周期天线设计[J]. 电子测量技术, 2018, 41(1):39-43.
- [9] POJANG K, RAKLUEA P. The design of log periodic dipole array antenna for WLAN/LTE/UWB applications[C]. 2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), 2018; 66-69.
- [10] ELMANSOURI M A, HA J, FILIPOVIC D S. Ultrawideband TEM horn circular array [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2017, 65(3): 1374-1379.
- [11] 王丽黎,侯荣璞,原艳宁. TEM 喇叭天线低频辐射分析与天线设计[J]. 强激光与粒子束, 2019, 31(8): 29-33.
- [12] EICHENBERGER J, YETISIR E, GHALICHECHIAN N. Antipodal UWB Vivaldi antenna with pseudo-element and notched flares for 2.5~57 GHz applications[C]. IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2018; 270-1758.
- [13] 林存银,周以国,李仲林. X 波段宽带 Vivaldi 相控阵天线的设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(8):19-23.
- [14] 胡南,谢文青,刘建睿,等. 一种圆极化超宽带平面螺旋天线的设计[C]. 2019 年全国天线年会论文集(中册), 2019; 854-856.
- [15] ELKADY H M, ABDULLAH H H, DARWISH S M. A novel UWB quadrifilar planar spiral antenna[C]. 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama), 2018; 1555-1559.
- [16] SAKOMURA E S, FERREIRA D B, BIANCHI I, et al. Compact planar two-arm compound spiral antenna for L-/X-Band direction finding applications[C]. 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2018; 853-854.
- [17] KIM C, KIM K T, YOON Y K, et al. Spherical super wideband(SWB) monopole antenna with micromachined tapered feeding line [C]. 2013 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2013; 226-227.
- [18] CHU S, HASAN M N, YAN J, et al. A planar super wideband annular ring monopole antenna with time domain characterization [C]. 2018 Asia-Pacific Microwave Conference(APMC), 2018; 1573-1575.
- [19] 张彦婷,林文斌,唐晋生. 用于探地雷达的超宽带单极子天线设计[J]. 电子测量技术, 2019, 42(15):65-68.
- [20] 南敬昌,刘银玲,高明明,等. 小型化分形结构 UWB 天线的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(12): 18-25.
- [21] PEYROT-SOLIS M A, GALVAN-TEJADA G M, JARDON-AGUILA H. Proposal and development of two directional UWB monopole antennas[J]. Progress in Electromagnetics Research C, 2011, 21; 129-141.

### 作者简介

胡泉,硕士研究生,主要研究方向为天线设计。

E-mail:826911202@qq.com

陈星,教授,主要研究方向为天线设计、并行计算、电磁场数值计算和微波成像等。

E-mail:xingc@263.net