

12-20GHz 的 TSA 天线

赵捷 王岩飞

(中国科学院电子学研究所 北京 100190)

摘要: 该文设计并实现了一个用于超宽带(UWB)系统的 TSA 天线。计算结果与测量结果表明:工作频段为 12-20GHz;天线的半功率波束宽度大于 40°,方向图随频率的变化很小;天线的最大增益随频率增大而变化,基本呈增大趋势。该 TSA 天线基本满足 UWB 系统对天线的要求。

关键词: 天线; TSA 天线; UWB

中图分类号: TN823

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)05-1253-03

A 12 to 20 GHz Tapered Slot Antenna

Zhao Jie Wang Yan-fei

(Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: A Tapered Slot Antenna (TSA) is investigated in view of Ultra Wide Band(UWB) applications. Simulation and measurement results show that, bandwidth of the antenna is 12-20GHz, half-power beamwidths are over 40 degrees, and distortions of the radiation patterns are quite small within the band. The antenna's gain increases with frequency. This TSA is a candidate for UWB system.

Key words: Antenna; Tapered Slot Antenna (TSA); Ultra Wide Band(UWB)

1 引言

从1970年代开始,超宽带技术得到深入研究并在无线领域得到应用^[1],随着固态电子和光电子技术的迅猛发展,实现超宽带通信系统成为可能。超宽带系统的最大特点是相对带宽大于25%,1990年,DARPA(the Defense Advanced Research Project Agency)定义相对带宽如下式^[2]:

$$\eta = 2 \frac{f_{\text{high}} - f_{\text{low}}}{f_{\text{high}} + f_{\text{low}}}, \quad (1)$$

其中 f_{high} 是高端频率, f_{low} 是低端频率。对于传统的雷达和通信系统,相对带宽很少超过10%,也就是说,绝对带宽最多是中心频率的10%,只能发现目标和提供目标位置,而不能形成目标的轮廓或图像,这样的雷达就像视力不佳的人,能看到人影但是不能分辨,因此需要从监测到的目标上获取更多精细信息。

现代UWB系统对天线的要求,除了宽带特性外,还有3个要求^[3]:(1)波束对称。(2)紧凑。天线单元要足够小,否则在最高频点会出现栅瓣;(3)天线单元能够与印刷电路的接发模块集成,用以实现波束电子扫描。这些要求都与形成天线阵列、能够实现波束电子扫描紧密相关。事实上,有很多种天线可以实现宽带,例如脊形喇叭天线,螺旋天线,对数周期天线,但是它们无一例可以与收发电路集成,而TSA天线可以满足上述3个要求从而实现相位控制。

1979年Gibson^[4]报告了“Vivaldi天线”,就是TSA天

线的一种,这是一种具有指数型渐变线(slotline)的天线(Exponentially Tapered Slot Antenna, ETSA),另一种是直线型渐变线(Lineally Tapered Slot Antenna, LTSA),这两种天线共同构成TSA 天线。这种天线由于加工比较简单且便宜,同时能够实现超宽带辐射,在从商业通信、遥感、多波束卫星通信(multiple beam satellite communications)到射电天文^[3]等很多研究和技术领域得以广泛应用。

对于TSA天线来说,通常采用的微带线馈电,而微带线是非对称的传输线,TSA天线的发射端——两条张开的曲线(或直线)是对称的。为了使天线对称辐射,1988年由Gazit^[5]提出一种新型天线——对跖天线,也就是将两条指数曲线包围的敷铜区域各挖去一个半圆(或半椭圆)后分别置于介质板的上下两面,称之为AVA(Antipodal Vivaldi Antenna),如图1,是微带线馈电形式。1996年Langley等^[6]提出带状线馈电的BAVA(Balanced Antipodal Vivaldi Antenna),如图2。

以上两种馈电方式非常简洁,实验证明产生的波束对称,说明天线上的电流是对称的。本文设计的TSA天线采

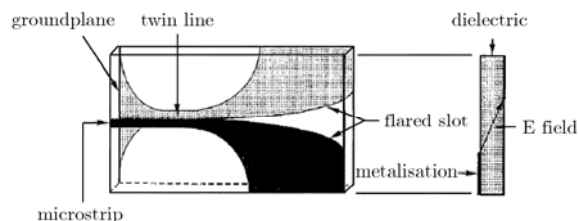


图1 AVA 天线

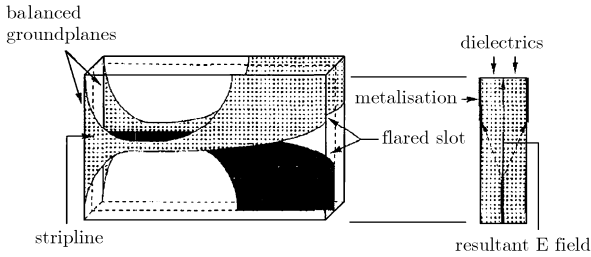


图 2 BAVA 天线

用 BAVA 方式馈电，即从带状线到渐变线的转换。

TSA 天线可以在介质板敷金属的一面或双面加工，在微波频率，采用微带线或带状线来馈电，因此微带线/带状线-双槽线的分析与设计就显得很重要。TSA 天线是端射式(endfire)的，其主要槽线极化方式，极化方向为电场平行于介质板，为了实现双极化，需要将天线单元排列成方格状。已被报道的应用有 SAR/MTI 微波成像雷达测量系统^[7]。对于 SAR/MTI 微波成像雷达而言，为了提高侦查能力，需要系统具有很强的适应性和多模式操作，文中报道的 PAMIR 机载雷达系统能实现在 100km 高空具有 30cm 的分辨能力(聚束模式下)，以及对于地面移动目标的逆合成孔径(ISAR)成像，为此系统设计了一个由 256 个 Vivaldi 阵元组成的相控天线阵，带宽为 8~12GHz。

TSA 天线的能够很容易地与 MICs(Microwave Integrated Circuits)集成。2002 年，Yun 等实现了一个 4 路 10~21GHz 的相控阵天线，组成部分是带状线馈电的 TSA 天线、4 通道多路器、PET 相移器和宽带 T/R 组件^[8]；2006 年，Hong 等实现了一个 6 路 10~35GHz 的相控阵天线，组成部分是带状线馈电的 TSA 天线、6 通道多路器、PET 相移器和宽带 T/R 组件^[9]。

综上所述，TSA 天线是有非常良好的应用前景。

本文设计并实现了天线单元，采用常规的高频板，通过测量得到天线的方向图，以验证设计参数和天线的宽带特点；设计了天线阵列和相应的馈电系统，并加工测量得到天线阵的方向图。测量结果表明，工作频段为 12~20GHz；天线的半功率波束宽度大于 40°，方向图随频率的变化很小；天线的最大增益随频率增大而变化，基本呈增大趋势。该 TSA 天线基本满足 UWB 系统对天线的要求。

2 TSA 天线单元设计

本文设计了一个 BAVA 方式馈电的 TSA 天线，即带状线在两层介质板之间馈电，完全相同的两个展开槽线被刻蚀在上下两表面上，使用材料是 Taconic 公司生产的表面敷铜高频微波介质板，介电常数 $\epsilon_r = 2.55$ ，介质损耗 $\delta = 0.0019$ ，单层板材的厚度是 0.787mm。

天线的槽线是逐渐开放的，有指数形式和直线形式，目的是消除突然结束产生的散射。天线设计中的参数很多，可以分为带状线/槽线转换，渐变槽线，带状线接头(stripline

stub)及槽线腔(slotline cavity)这几部分。

渐变线的端口部分、带状线接头以及槽线腔组成了巴伦(Balun)，目的是将电磁场能量从具有宽带的准 TEM 模电磁场的带状线结构耦合到宽带的渐变槽线结构，实现电磁场传输。从电路的角度看，槽线腔可以看成是一个开路的传输线，渐变线所环绕的金属导体部分可以看作一个四分之一波长短路，两部分都把入射能量反射到槽线使之辐射能量。

指数渐变部分由开放指数 R (opening rate)和两个端点 $P_1(z_1, y_1)$, $P_2(z_2, y_2)$ 来定义：

$$y = c_1 e^{Rz} + c_2$$

$$\text{其中 } c_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}}, \quad c_2 = \frac{y_1 e^{Rz_2} - y_2 e^{Rz_1}}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}}。$$

图 3 描述了带状线馈电的印刷制 TSA 的结构及相关参数。天线的设计过程是半经验性的，为了得到一个理想的、工作频率在 10~20GHz 之间的 TSA，需要从两个方面着手进行设计：一是巴伦部分，也就是带状线向天线上下表面的馈电部分，一是辐射区域。这两部分涉及很多参数，在设计的时候需要借助仿真工具进行计算，不断逼近理想结果。

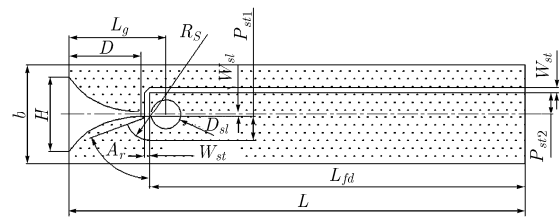


图 3 TSA 天线

图 4 就以参数 D_{sl} 为例说明参数对天线驻波的影响，从而确定最佳结果。

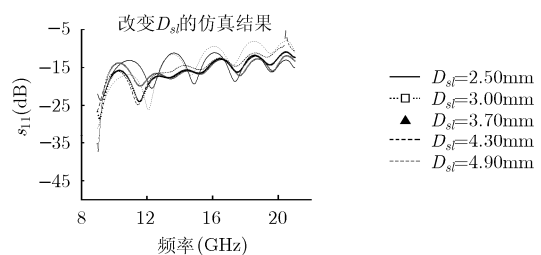


图 4 改变 D_{sl} 的仿真结果

表 1 是所设计天线的参数值(除 A_s 的单位是角度外，其他参数的单位都是毫米)。

3 仿真结果及测量结果

我们采用 HFSS 软件来计算这部天线，图 5 是天线在此软件中建模的外观。

测量反射系数的仪器是 Agilent E8362B，图 6 是天线的反射系数测量结果。图 7 是天线在 $f = 10, 13, 16, 18\text{GHz}$ 的远场方向图的计算结果与测量结果($\phi = 0^\circ, 90^\circ$)之比较。

表 1

b	32.00	R_g	2.67
D	41.56	A_r	70
H	21.16	W_{st}	1.00
D_{sl}	3.70	W_{sl}	0.50
L_y	45.15	P_{st1}	4.93
L_{fd}	7.50	P_{st2}	2.00
L	50.80		

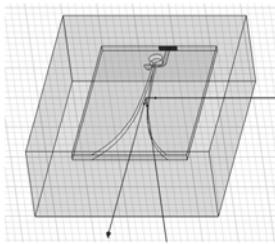


图5 天线在HFSS中的几何建模

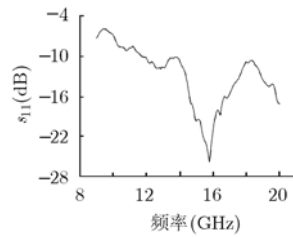


图6 天线反射系数的测量结果

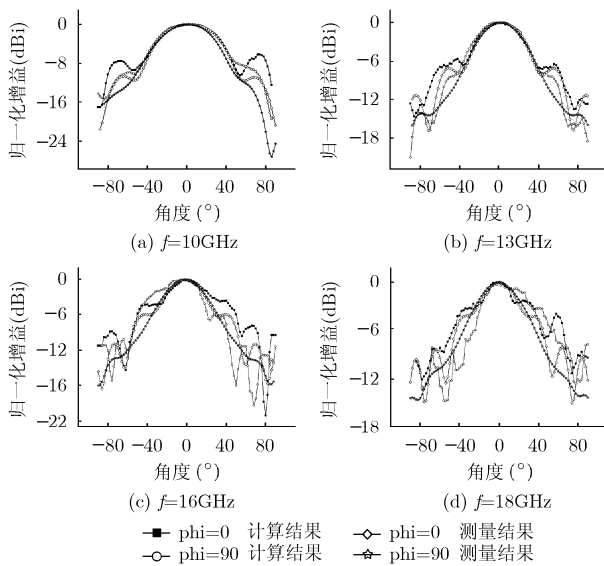


图7 天线远场方向图

图8 是天线最大增益的测量结果。

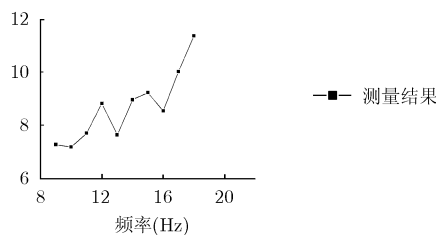


图8 天线最大增益

4 结论

从测量结果可以得到以下结论：(1)天线的带宽是 12G-20GHz，相对带宽大于 25%，满足 UWB 系统对天线带宽的要求。(2)天线的波瓣非常宽，而且测量结果与仿真结果同时表明天线方向图随着频率的变化而产生的形变很小，这就基本满足了 UWB 系统对天线的线性要求^[10]。(3)天线的最大增益随频率变化而变化，基本规律是增大趋势。

参考文献

- [1] Chen Zhi Ning and Chia M Y W. Broadband Planar Antennas: Design and Applications, West Sussex. John Wiley & Sons Ltd, England, 2006, Chap.5.
- [2] Immoreev I Y and Taylor J D. Ultrawideband Radar Special Features & Terminology. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2005, 20(5): 13-15.
- [3] Langley J D S, Hall P S, and Newham P. Balanced antipodal Vivaldi antenna for wide bandwidth phased arrays. *IEE Proc. -Microw. Antennas Propag*, 1996, 143(2): 97-102.
- [4] Gibson P J. The Vivaldi aerial, 9th European Microwave Conference, UK, 1979: 101-105.
- [5] Gazit, E. Improved Design of the Vivaldi Antenna. *Proc. IEE*, 1988, 135H: 89-92.
- [6] Langley J D S, Hall P S, and Newham P. Balanced antipodal Vivaldi antenna for wide bandwidth phased arrays. *IEE Proc. -Microw. Antennas Propag*, 1996, 143: 97-102.
- [7] Wilden H, Poppelreuer B, Saalman O, Brenner A, and Ender J. Design of realization of the PAMIR antenna frontend. Proceeding of EUSAR2004, Germany, 2004: 493-496.
- [8] Yun T Y, Wang C, Zepeda P, Rodenbeck C T, Coutant M R, Li M, and Chang K. A 10- to 21GHz, low-cost, multifrequency, and full-duplex phased-array antenna system. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 2002, 50(5): 641-650.
- [9] Hong S, Kim S G, Coutant M R, Rodenbeck C T, and Chang K. A multiband, compact, and full-duplex beam scanning antenna transceiver system operating from 10 to 35 GHz. *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, 2006, 54(2): 359-367.
- [10] Verbiest J R and Vandenbosch G A E. Low-cost small-size tapered slot antenna for lower band UWB applications. *Electronics Letters*, 2006, 42(12): 5-6.

赵捷：女，1974年生，副研究员，研究方向为雷达天线设计及其研究，目前关注超宽带天线的研究。

王岩飞：男，1963年生，研究员，博士生导师，主要研究方向为数字信号处理和微波成像技术。