

亚毫米波蝶形天线的设计

叶海荣 李国桢* 林红波

(南京理工大学电子工程系, 江苏, 南京, 210094)

摘要 讨论了位于无限介质空间的蝶形天线理论和方向图, 对阻抗进行了计算机辅助分析与计算. 文中还给出了 0.337mm 蝶形天线的设计结果.

关键词 亚毫米波, 蝶形天线, 计算机辅助分析.

引言

蝶形天线是介质基片平面天线中新的分支, 其基本结构如图 1 所示^[1]. 蝶形天线主要优点是结构简单, 成本低, 频带宽, 并可由照相制版制作工艺来集成, 因此, 这种准光学系统可替代昂贵的精密机械波导元件. 在国外, 这种天线已在射电天文学中得到应用^[2], 但是, 亚毫米波段蝶形天线的设计, 国内外尚未见到报道. 本文讨论了亚毫米波蝶形天线理论和设计, 并将研究结果应用于亚毫米波与红外探测器中.

1 理论

1.1 基本条件

图 1 中蝶形天线由两个完整的导体组成, 它位于介电常数为 ϵ_r 的低耗半介质空间上, 三角形段由蝶形结顶点馈电, 蝶形长为 a , 宽为 b , 半角为 ϕ_0 . 顶点馈电的输入电流函数通过结中心场来确定. 例如: 在离天线输入点一倍波长的距离内, 可由拉普拉斯方程静态解来描述, 并利用保角变换来确定天线的特性(方向图).

1.2 主要公式

(1) 理想蝶形天线的准静态阻抗 Z_{qs}

理想蝶形天线的准静态阻抗 Z_{1s} 为

$$Z_{qs} = \eta_0 \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \cdot \frac{K(K)}{K'(K)}, \quad (1)$$

式(1)中的 $K'(K)$ 和 $K(K)$ 为第 2 类和第 1 类椭圆积分, 积分中自变量 $K = \tan^2(45^\circ - \phi_0/2)$. 理论公式与微波阻抗测量结果表明, 蝶形天线长度 a 应大于自由空间波长 λ_0 .

* 昆明物理研究所, 云南, 昆明, 650223

本文 1994 年 8 月 13 日收到, 修改稿 1995 年 1 月 5 日收到

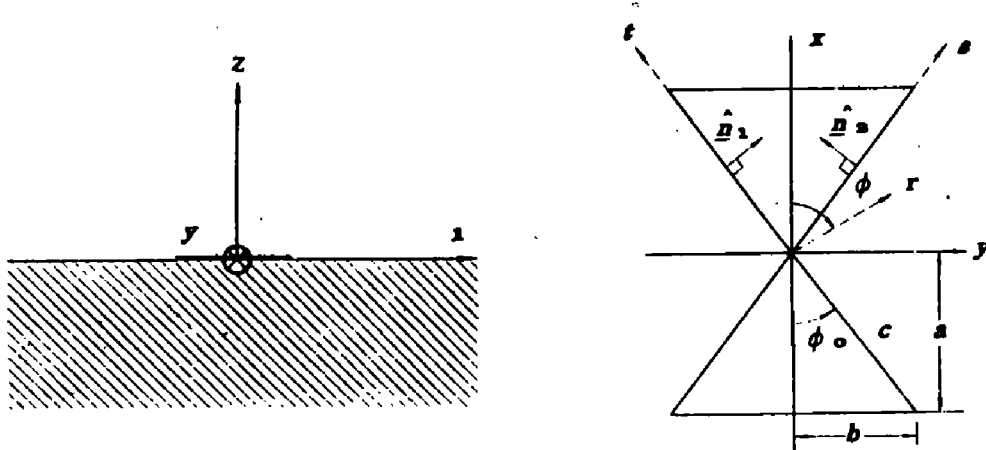


图1 在平面直角坐标系和极坐标系下的蝶形天线的几何形状和非正交坐标系(s,t)
Fig. 1 The geometry of a bowtie antenna in the Cartesian(x,y,z) and radial coordinates(r,φ)
and the corresponding oblique coordinates(s,t) with unit vectors \hat{n}_1, \hat{n}_2

(2) 理想蝶形天线输入电流

理想蝶形天线输入电流为^[3]

$$\vec{J} = \pm \frac{e^{-r}/r}{\sqrt{\cos^2\phi - \cos^2\phi_0}} \hat{r}, \quad (2)$$

式(2)中士号对应于天线的上半部和下半部. $\sqrt{\cos^2\phi - \cos^2\phi_0}$ 反映了蝶形结天线的几何特性. e^{-r}/r 表示向外辐射的球面波. 传输系数 $v = \alpha + j\beta$, β 的估计值由准静态波数 K_q ($K_q = K_0 \sqrt{(\epsilon_r + 1)/2}$) 提供, α 为天线电流辐射引起的衰减.

(3) 蝶形天线电流的分析与修正

式(2)仅表示天线单一的理想电流模型,考虑附加电流后,式(2)中的天线输入电流 \vec{J} 应为 \vec{J}_f :

$$\vec{J}_f = \pm \frac{e^{-r}/r}{\sqrt{\cos^2\phi - \cos^2\phi_0}} \left[1 - \left(\frac{r}{a \cos\phi} \right)^2 \right] \hat{r}, \quad (3)$$

考虑到修正后的输入电流 \vec{J}_f 响应产生的电流,则其总电流应为

$$\vec{J}_z = \vec{J}_f + \sum_{nm} C_{nm} \vec{J}_{nm}, \quad (4)$$

式(4)中 J_{nm} 表示天线中新增电流成份的电流模函数, C_{nm} 表示未知的电流振幅系数,通常可用 Galerkin 方法由矩量法解出.

2 计算机辅助分析

根据上述理论与公式,我们进行了对蝶形天线增益等方面的计算机辅助分析,并编制了

相应的程序。

求解蝶形天线增益的程序用 FORTRAN77 语言编写,并在计算机上进行调试.该程序由主程序及 7 个子程序和一个数据辅助程序组成。

根据指标要求,通过计算机对蝶形天线进行设计和计算.当天线半长度 $a=10\lambda_0$ ($\lambda_0=0.337\text{mm}$),工作频率 $f_0=890\text{GHz}$,介质 $\epsilon_r=3.83$,天线半角 $\phi_0=6.58^\circ$, $b=a$, $\text{tg}\phi_0=0.389$ mm 时,方位角 $\varphi=0$ (即在 XOZ 平面上)的天线方向图如图 2 所示.图 2 中当入射波的入射角 $\theta=0^\circ$ 时,主瓣归一增益为 1(达 15dB);当 $\theta=30^\circ$ 时归一增益出现零点,但是,旁瓣幅度较大,需要改进。

计算表明,当 b 不变, a 增大时,天线增益增大,旁瓣幅度下降.在计算机辅助分析与设计过程中,蝶形天线上新增的电流成份 $\sum_{n,m} C_{n,m} J_{n,m}$ 是影响计算精度的主要原因.其中,电流振幅系数 $C_{n,m}$ 的正确选择是重要的. $C_{n,m}$ 太小将导致一个不收敛的解,而许多不同的 $C_{n,m}$ 值则导致冗长的计算时间.计算机辅助分析表明,主模集结在 $m=n$ 的周围.这是选择 $C_{n,m}$ 的主要依据。

3 设计

3.1 亚毫米传感器蝶形天线的设计

我们研究的蝶形天线是传感器的高频前端,它与高温超导材料构成的约瑟夫逊检波器组成传感器高频部分.以前这种传感器没有专用天线,因此增益低,方向性差,加上天线则可提高探测灵敏度,增强方向性.为此,要求天线频带宽,其阻抗与混频器匹配.由于天线工作在亚毫米波段,尺寸很小,为提高接收效率,用外加介质透镜来增强天线的方向性(见图 3)。

图 4 为带有超导探测结的蝶形天线的顶视图和横剖面图.其中,超导探测结构与信号线相连,负载结与蝶形天线相匹配.它们之间有绝缘层隔开.但又保持着相互间的电耦合。

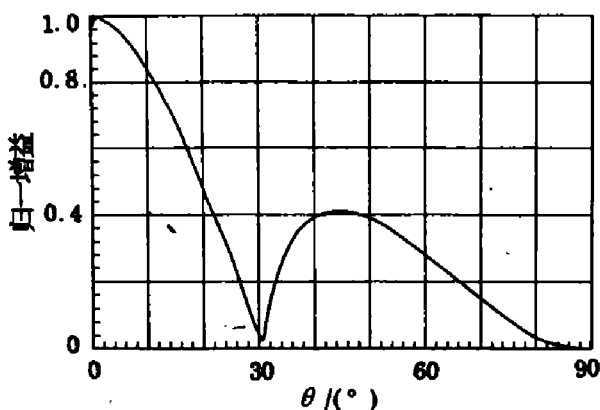


图 2 XOZ 平面蝶形天线方向图

Fig. 2 Bowtie antenna patterns in the XOZ-plane

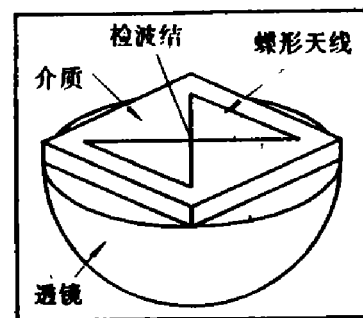


图 3 带有透镜的蝶形天线

Fig. 3 Bowtie antenna with lens

3.2 设计结果

根据以上计算机辅助分析和设计思想,结合研究项目提出的指标,我们设计了一个亚毫

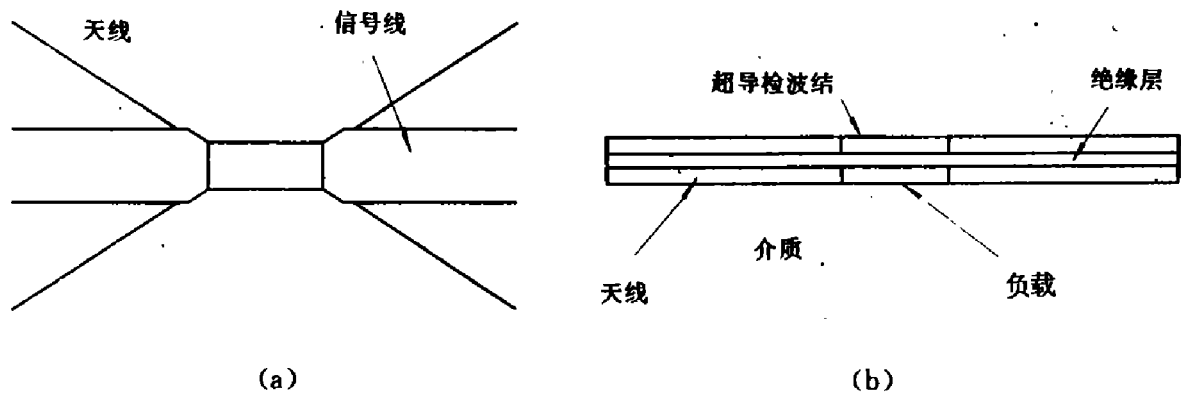


图 4 带有超导探测结的蝶形天线顶视图和横剖面图

(a) 顶视图

(b) 剖视图

Fig. 4 Top view (a) and cross section (b) of bowtie antenna with superconducting detector

米波蝶形天线. 其中心频率为 890GHz (即 $\lambda_0 = 0.337\text{mm}$), 取 $a = 10\lambda_0$, 半角 $\phi_0 = 6.58^\circ$, $b = a$, $\text{tg}\phi_0 = 0.389\text{mm}$, 天线长度 $l = 2a = 6.74\text{mm}$, 宽 $w = 2b = 0.778\text{mm}$.

上述讨论的介质基片上蝶形天线的原理与设计, 可以推广应用到其它形状的平面天线.

参考文献

- 1 Rutledge D B, *et al.* in *Infrared and Millimeter Waves*, Vol. 10, Buttan K J. Ed. New York, Academic, 1983, 1-90
- 2 Phillips T G, Rutledge D B. *Sci. Am.*, 1986, **254**(5): 96~102
- 3 Compton R C, *et al.* In *IEEE Trans*, 1987 **AP-35**(6): 622~631
- 4 Wentworth S.M, *et al.* *SPIE*, 1990, 1292: 148-154

DESIGN OF SUB-MM WAVE BOWTIE ANTENNA

Ye Hairong Li Guozhen* Lin Hongbo

(*Electronic Engineering Department, Nanjing University of science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China*)

Abstract The theory of bowtie antenna and the antenna pattern in the infinite dielectric space were discussed. Using CAA, the impedance was analyzed and calculated. In addition, this paper gives the result of design of bowtie antenna, which works at 0.337mm wavelength.

Key words sub-mm wave, bowtie antenna, computer-aided analysis

* Kunming Institute of Physics, Kunming, Yunnan 650223, China