

至此,本文讨论了所设计轴向辐射螺旋天线的各项技术情况,提出了以轴向模螺旋天线辐射宽带高功率微波。经计算获得了一工作在 0.47 至 0.52GHz 之间的宽带高功率天线,占据 10% 的带宽。此天线实现了波束的定向辐射,实现天线的总效率为 90% 左右,良好的圆极化性能,最大轴比不超过 1.35。但存在不足之处,主要是增益不够高,波束宽度还不够小,这方面的问题需要我们再做进一步的深入研究。

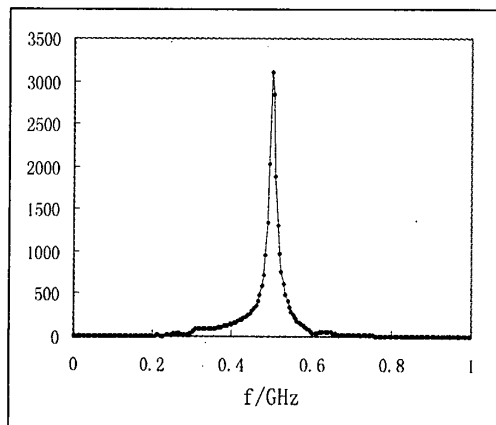


图 7 $y=1.6mEz$ 频谱图

参考文献:

- [1] 丁美玉,高西全. 数字信号处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
 - [2] 董楠,程受浩,刘华,徐德华. 超宽带螺旋天线的仿真设计[J]. 制导与引信, 2005, 26(2): 48-51
 - [3] 林昌禄,聂在平. 天线工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
 - [4] William D, Prather.. Survey of worldwidd high-power wideband capabilities. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 2004, 46(3): 335-344
 - [5] Nakano H, Yuji Samada, Junji. Axial mode helical antenna. IEEE Trans on Antenna and Propagation, 1986, 34(9): 1143-1148.
- 张明芳** (1983-), 男, 西南交通大学电磁所硕士研究生。主要研究方向为计算电磁学、天线理论与技术。Email: 20013506zhang@163.com
- 廖成** (1964-), 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向为计算电磁学、天线理论与技术、电磁散射与逆散射。
- 唐涛** (1982-), 男, 西南交通大学电磁所博士研究生。主要研究方向为天线理论与技术。
- 刘昆** (1979-), 男, 西南交通大学电磁所博士研究生。主要研究方向为计算电磁学、天线理论与技术。

宽带微带锥形缝隙天线的研究

张宁 王遂学 彭云

北京航天长征飞行器研究所 (北京 9200 信箱 76 分箱 5 号 100076)

摘要: 微带锥形缝隙天线 (MTSA) 是一种性能很好的宽带天线, 其阻抗带宽通常都能达到 50% 以上。本文通过对工作在 C 波段的微带锥形缝隙天线的分析, 确定了其主要参数值。并且以此进行了电磁仿真计算和测试, 结果表明其在 4GHz 频带内阻抗匹配较好, $VSWR < 2.5$, 可以作为一种良好的宽带接收天线。

关键词: 微带锥形缝隙天线、宽带特性

中图分类号 TN82

文献标识码 A

Study of Wide-Band Microstrip Tapered Slot Antenna

Zhang Ning, Wang Suixue, Peng Yun

Beijing Institute of Space Long March Vehicle (Post Box 9200-76-5, Beijing, 100076)

Abstract: Microstrip tapered slot antenna (MTSA) is a good type of wide band antenna, the Impedance band is over 50 percent usually. In this paper, a MTSA working on C-band was analyzed and the main parameters were defined. The EM simulation and measurement results show the MTSA is well matched in 4GHz ($VSWR < 2.5$), and it is an excellent kind of receiving antenna.

Keywords: MTSA Wide-Band

1. 引言

微带锥形缝隙天线 (Microstrip Tapered Slot Antenna) 是锥形缝隙天线 (TSA) 的一种, 都属于渐变式缝隙天线, 也都是行波天线。其可以分为直线渐变式缝隙天线 (LTSA) 和指数渐变式缝隙天线 (ETSA) 两类。其中, 指数渐变式缝隙天线的槽线按照指数形式张开而成, 宽带特性十分优秀, 辅助以较好的馈电形式, 可以工作在 2:1 倍频层上 ($VSWR \leq 2$), 并且同时获得端射的辐射方向图^{[1][2]}。本文根据 ETSA 天线的分析方法, 对天线的各项参数进行了计算, 设计了一种可以工作在 4GHz 的微带锥形缝隙天线, 通过电磁仿真计算确定其最终参数。加工样件后通过测试表明, 测试结果和分析及电磁仿真结果吻合较好。

2. 理论分析

微带锥形天线的结构形式如图 1, 宽度为 W , 长度为 L , 天线的每一节渐开线缝隙宽度为 a , 最终的缝隙宽度为 H 。传统的分析主要方法有两步, 第一步确定缝隙的切向电场分布, 第二步根据等效原理, 由缝隙上的等效磁流分布求外辐射场。在第一步的计算中, 把指数张开形的微带缝隙用许多短的均匀缝隙的级联等效, 如图 2。其中 β^n, Z_c^n 表示各个渐变段的传输系数和特性阻抗, Zl 为天线终端负载, 于是可以利用传输线理论得出各个段切向电场的相对分布。或者直接利用数值方法, 如矩量法 (MOM), 时域有限差分法 (FDTD) 求解^[3]。

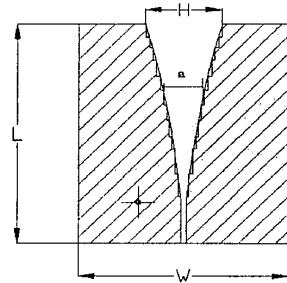


图 1. MTSA 示意图

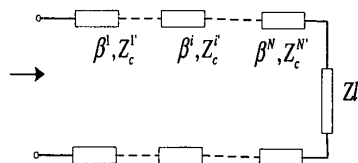


图 2. 天线等效为电路

利用谱域矩量法分析渐变的槽线, 当介质板相对介电常数 ϵ_r 满足 $2.2 \leq \epsilon_r \leq 3.5$ 时, 得到的一组槽线相对波长 λ_g / λ_0 和特性阻抗 Z_c 的数值拟合公式如下^[4]:

$$\frac{\lambda_g}{\lambda_0} = 1.045 - 0.365 \ln \epsilon_r - \frac{0.631 \epsilon_r^{0.835} \left(\frac{a}{\lambda_0} \right)}{238.64 + 100 \frac{a}{h}}$$

$$- [0.148 - \frac{8.81(\epsilon_r + 0.95)}{100 \epsilon_r}] \ln \frac{h}{\lambda_0},$$

$$0.0015 \leq \frac{a}{\lambda_0} \leq 0.075$$

$$\frac{\lambda_g}{\lambda_0} = 1.194 - 0.24 \ln \epsilon_r - \frac{0.621 \epsilon_r^{0.835} \left(\frac{a}{\lambda_0} \right)^{0.48}}{1.344 + \frac{a}{h}}$$

$$\begin{aligned}
& -0.0617[1.91 - \frac{(\epsilon_r + 2)}{\epsilon_r}] \ln \lambda_0, \\
& 0.075 \leq \frac{a}{\lambda_0} \leq 1.0 \quad (1) \\
& Z_c = 60 + 3.69 \sin \frac{(\epsilon_r - 2.2)\pi}{2.36} + 133.5 \ln(10\epsilon_r) \sqrt{\frac{a}{\lambda_0}} \\
& = 2.81[1 - 0.011\epsilon_r(4.48 + \ln \epsilon_r)] \left(\frac{a}{h} \right) \ln \left(\frac{100h}{\lambda_0} \right) \\
& + 131.1(1.028 - \ln \epsilon_r) \sqrt{\frac{h}{\lambda_0}} + 12.48 \frac{(1 + 0.18 \ln \epsilon_r) \frac{a}{h}}{\sqrt{\epsilon_r - 2.06 + 0.85 \left(\frac{a}{h} \right)^2}} \\
& 0.0015 \leq \frac{a}{\lambda_0} \leq 0.075 \\
& Z_c = 133 + 10.34(\epsilon_r - 1.8)^2 + 2.87[2.96 + (\epsilon_r - 1.582)^2] \\
& \cdot \left[\left(\frac{a}{h} + 2.32\epsilon_r - 0.56 \right) [(32.5 - 6.67\epsilon_r)] \right. \\
& \cdot \left. \left(100 \frac{h}{\lambda_0} - 1 \right)^2 - (684.45 \frac{h}{\lambda_0}) (\epsilon_r + 1.35)^2 \right. \\
& \left. + 13.23 \left[(\epsilon_r - 1.722) \frac{a}{\lambda_0} \right]^2 \right] \\
& 0.075 \leq \frac{a}{\lambda_0} \leq 1.0 \quad (2)
\end{aligned}$$

这样, 就可以根据 (1) (2) 式求出每一段传输线的特性阻抗和传输系数, 通过传输线理论就可以得到整个锥形缝隙天线在工作频带内的输入阻抗。

另外, 为了进一步拓展天线的阻抗带宽, 可以考虑在锥形缝隙的起点处, 即馈电点处附加相应的匹配网络, 如图 3 所示。锥形缝隙的起点处采用圆形槽加载, 使天线在起点处的电流幅度分布均匀, 就能提高馈电点处的阻抗匹配能力。

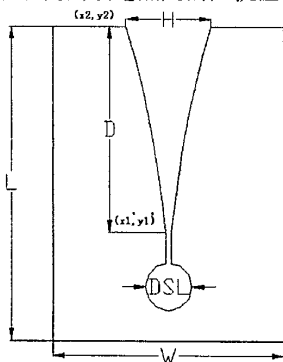


图 3. MTSA 形式及参数

3. 设计实例及结果

文献[3]给出了用 FDTD 计算出的微带锥形缝隙天线的计算方法, 结合本文中对天线的性能要求, 利用电磁计算软件 HFSS 对天线的各项参

数进行了计算。使图 3 所示的天线满足带宽内的阻抗特性, 得到的天线参数如下:

天线长度 $L=55\text{mm}$, 宽度 $W=40\text{mm}$, 渐开线缝隙长度 $D=35\text{mm}$, 终端缝隙宽度 $H=14.8\text{mm}$, 起始端圆槽直径 $DSL=10\text{mm}$, 渐开线的渐开率 $R=0.25$, R 的表示式为: $x=c_1e^{Ry}+c_2$, $c_1=\frac{x_2-x_1}{e^{Ry_2}-e^{Ry_1}}$, $c_2=\frac{x_1e^{Ry_2}-x_2e^{Ry_1}}{e^{Ry_2}-e^{Ry_1}}$ 。

利用 2 中的传输线计算方法, 根据天线参数计算得到的天线在 $f_0-3\sim f_0+3\text{GHz}$ 范围内的归一化输入阻抗如图 4, 在 $f_0-3\sim f_0+3\text{GHz}$ 的范围内, 天线归一化输入电阻在 $0.5\sim 2.5$ 内变化, 归一化输入电抗在 $-0.6\sim 1.2$ 范围变化, 并且具有 5 个谐振点, 说明可以通过多谐振点的方法增加天线阻抗带宽。用电磁仿真软件得到的天线输入阻抗如图 5, 驻波比曲线如图 6。从图中可以看出, 两种方法计算得到的阻抗矩阵图形较为吻合, 数值有所差异, 是因为传输线方法没有考虑天线起始端匹配圆槽的作用。天线在 $f_0-2\text{GHz}\sim f_0+1.8\text{GHz}$ 的范围内电压驻波比 $\text{VSWR}\leq 2$, 天线在接近 2:1 倍频层上阻抗匹配较好。

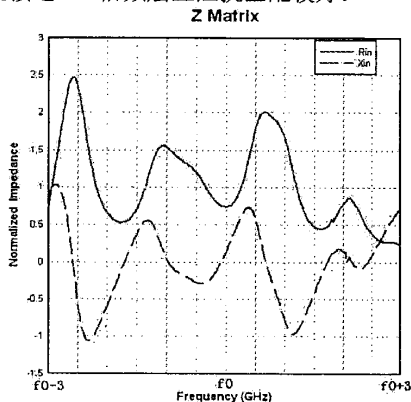


图 4. 计算 MTSA 输入阻抗

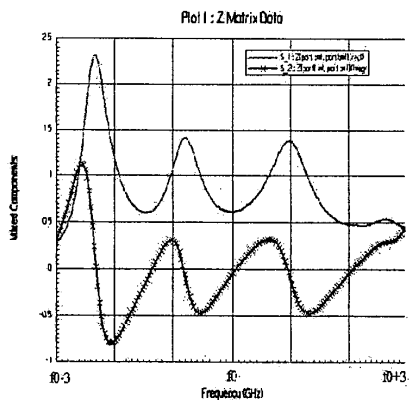


图 5. HFSS 计算 MTSA 输入阻抗

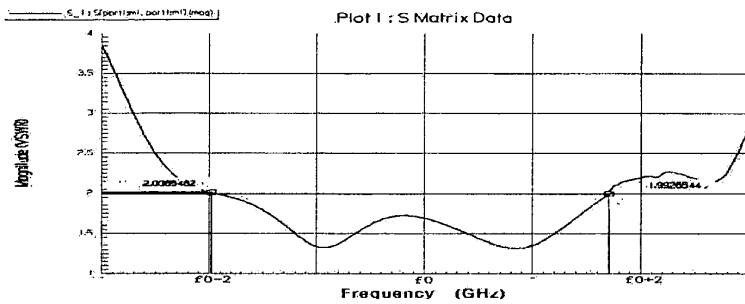


图 6. MTSA 仿真驻波比

对微带锥形缝隙天线样件的测试驻波比结果如图 7。从图中可以看出，天线在频带内的 VSWR 为 1.82($f_0-2\text{GHz}$)，1.23($f_0\text{GHz}$)，

2.26($f_0+2\text{GHz}$)，在 4GHz 范围内 $\text{VSWR} \leq 2.5$ ，和设计计算结果吻合很好。

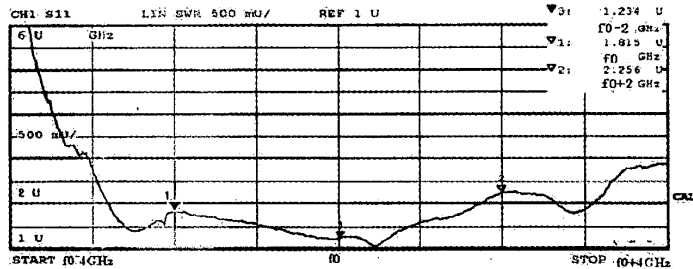


图 7 实测 MTSA 的 VSWR 结果

在我所 5751 天线测试紧缩场测试得到的微带锥形缝隙天线的方向图如图 8，实线为天线 H 面方向图，点划线为 E 面方向图。通过方向图

可以看出，天线的增益为 7dB，H 面波束宽度为 80° ，E 面为 90° ，表现出较好的端射特性。

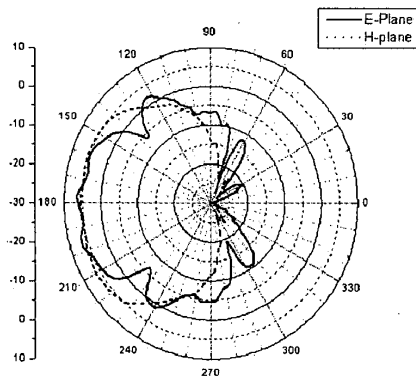


图 8. MTSA 测试方向图

4. 结论

通过以上的分析以及计算、实测结果可以看出，微带锥形缝隙天线是一种性能优良的宽带天

参考文献:

- [1] L.R.Lewis, M.Fasset, "A broad-band stripline array element," *IEEE Int Symp. Antenna Propagat. Dig.*, 1974, pp.335-337.
- [2] B.T.Stephenson and C.H.Walter, "Endfire slot antenna," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, Vol.Ap-3. pp.81-86, 1995.

线，其可以在 4GHz 的频段上工作 ($\text{VSWR} < 2.5$)，频带内增益大于 5dB，同时具有体积小，质量轻的优点。

- [3] J.Shin and D.H.Schauber, "A Parameter Study of Stripline-Fed Vivaldi Notch-Antenna Arrays," *IEEE Trans. Antenna Propagat.* Vol Ap-47, pp.879-886, 1999.
- [4] 钟顺时, 《微带天线理论与应用》, 西安电子科技大学出版社, 西安, 1991

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>