

宽带高功率螺旋天线的模拟研究

张明芳, 廖成, 唐涛, 刘昆

(西南交通大学电磁所, 四川, 成都: 610031)

摘要:本文从理论与模拟的角度研究了宽带高功率螺旋天线。经分析选定工作于轴向模状态的螺旋天线来定向辐射高功率微波, 提出并设计了工作在 0.47 至 0.52GHz 之间, 中心频率为 0.5GHz 的螺旋天线, 其实现带宽 10%, 增益 12.8dB, 轴比最大不超过 1.35, 总效率为 90%, 主瓣宽度为 38.5 度。

关键词: 宽带, 高功率微波, 轴向模螺旋

中图分类号: TN820.

Simulation and Research on Wideband High Power Helix Antenna

ZHANG Mingfang , LIAO Cheng , Tang Tao , Liu Kun

(Electromagnetic Institute , Southwest Jiaotong University , Chengdu , Sichuan, 610031)

Abstract : A helical antenna is simulated for the use of the wide-band high power microwave. The axial mode helical antenna is chosen to realize the directional radiation of high power microwave, and design a helix antenna which operates on the spectrum from 0.47GHz to 0.52GHz, and has a central operating frequency of 0.5GHz. The antenna realizes bandwidth 10%, gain 12.8dB, axial ratio less than 1.35, total efficiency 90%, and beam width 38.5 degree.

Key words : wideband, high power microwave, axial mode helix.

1、引言

窄带和超宽带高功率微波系统, 是目前人们在高功率微波(High Power Microwave, HPM)领域研究地比较多的, 而往往忽略了位于两者之间的宽带。众所周知, 窄带高功率系统的频谱单一, 若要对目标实施攻击, 则必须知道目标的频谱范围, 否则不能完全破坏目标系统, 即其有较低的目标耦合性, 而超宽带高功率系统含有大量的频谱信息, 但是其所辐射的功率比较低, 这些使窄带和超宽带系统的使用受到了极大的限制。宽带高功率微波系统采用的是高压开关技术(150KV-1MV), 频率在 100-900MHz, 波形是阻尼正弦波, 带宽大约在 10%左右, 与上述的高功率系统相比, 其优点是有较高的目标耦合特性, 能更好地穿透墙壁和丛林; 其次由于有 10%的带宽, 较少受目标本身频率变化的影响。另外, 所辐射的能量比超宽带系统所辐射的能量高。其缺点与窄带高功率系统相比: 为了得到高增益, 较长的波长需要更大的天线; 射程比窄带小。我们知道宽带是根据信号的相对带宽来定义的: 即

信号的相对带宽大于 1%小于 25%^[4], 其相对带宽的计算表达式为:

$$\eta = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \times 100 \quad (1)$$

由高功率源产生的高功率微波, 必须被聚在很窄的波束内对目标实施攻击, 则必须采用定向高增益发射天线。文章提出了一种由轴向模螺旋天线来实现 HPM 天线的思路, 同时对该轴向模螺旋天线进行一系列的模拟计算, 获得一定结果。

2、圆柱螺旋天线

将金属导线绕制成一定尺寸的圆柱形螺旋线, 其一端处于自由状态, 另一端用同轴线内导体馈电, 馈电端的金属接地板与同轴线的外导体相连, 构成一个圆柱螺旋天线, 其结构图 1 所示。图中, D 为螺旋直径; α 为螺距角; S 为螺距; N 为圈数; L 为螺旋轴向长度; l 为螺旋一匝的长度。

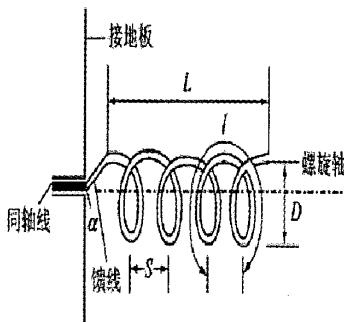


图 1 圆柱螺旋天线结构示意图

根据螺旋线上的电流分布,圆柱螺旋天线的辐射状态又可以分为法向、轴向和圆锥形三种辐射状态。其中,轴向辐射状态是指在螺旋天线的轴向有最强辐射,其方向图的主瓣宽度一般在 30 度到 60 度之间。

轴向模圆柱螺旋天线具有以下的特点:沿天线轴线方向有最强的辐射;辐射场是圆极化场,沿螺旋导线传播的电流波是行波;输入阻抗近似地为纯阻抗;频带较宽^[3]。前已叙述,由高功率源产生的高功率微波,必须被聚在很窄的波束内对目标实施攻击,则必须采用定向高增益发射天线。根据圆柱螺旋天线的几种辐射状态,轴向模辐射可实现高功率微波的定向辐射。

3、馈入信号

大量的宽带高功率微波源已经产生,目前这些源所产生信号的频谱是在 100MHz 到 700MHz 之间,但是这一范围的信号却不利于由窄带技术产生。这也是宽带高功率微波得到业界重视的原因之一。一般来说,宽带高功率微波由两种方式产生:一种方式是反馈一阻尼正弦波(Damped sine wave)到宽带天线,形成高功率微波;另一种方式是转换一瞬态信号到谐振天线形成高功率微波^[4]。

本文采用第一种方式来实现宽带高功率微波,所采用的阻尼正弦波的频率在 500MHz, 相应的表达式如下:

$$f(t) = A \exp(-\alpha t) \sin(2\pi f t) \quad (2)$$

式中,衰减因子 $\alpha = 3.5 \times 10^7$, 频率 $f = 500MHz$, 幅度 $A = 1$ 。波形如图(2)所示。

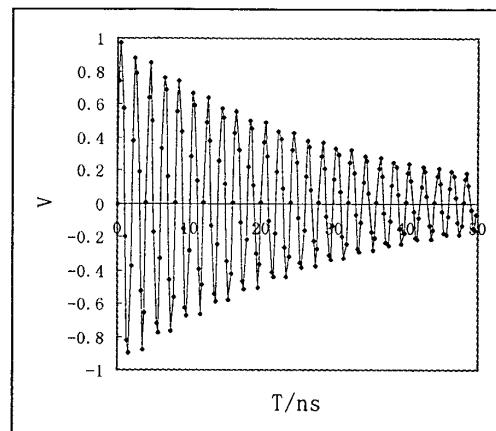


图 2 阻尼正弦波波形

4、模拟结果

本文工作采用基于优化的有限积分数值法软件包 CST-Microwave Studio 进行仿真。该软件包具有人性化的图形界面和基于专家系统的全自动网格剖分,使螺旋结构的构建成为可能且方便,同时快速的计算速度,可以对不同参数的天线进行大量的模拟仿真。

所建立的螺旋天线模型如图 2 所示,螺旋轴线在 y 轴,天线长约 60cm。根据这一模型,并且馈入阻尼正弦波,进行模拟计算,获得了以下一系列的结果。首先,该天线的端口匹配是较好的。图 3 中的 S_{11} 曲线看到在 10% 带宽内的反射系数介于 0.15 至 0.29 之间,电压驻波比小于 1.8,实现天线效率约为 90% 左右。

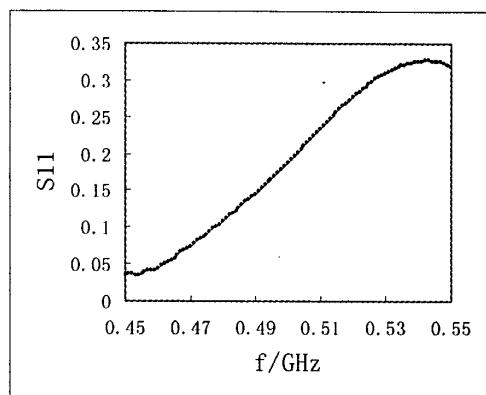


图 3 反射系数曲线图

图 4 是该天线的功率增益方向图, 它满足了轴向辐射的要求, 在螺旋的轴线方向上形成了一束能量波, 实现了定向辐射。但是该波束的最大辐射方向偏离了主轴, 偏离度大约是 5 度, 波束的主瓣宽度是 38.5 度, 对于高功率天线来说, 此波束宽度太宽了, 需要进一步的减小。

从增益的数值上看, 最大增益达到了 19.2, 也就是 12.8dB, 因为天线的尺寸受到了限制, 且是单螺旋结构, 所以目前实现的最大增益也就这么大。对于高功率天线来说, 实现的增益越大越好, 对于此设计, 在不增加天线尺寸的前提下提高增益是可能的, 我们可以从多线绕制螺旋^[5]着手, 由于时间的问题这将在以后阐述。

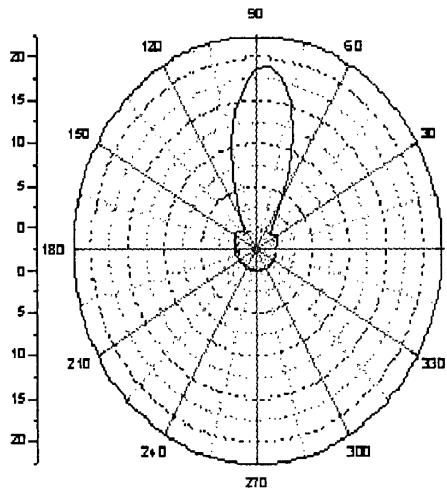


图 4 $f=0.5\text{GHz}$ E 平面功率增益方向图

(θ)

对于高功率微波而言, 为了增加与目标的耦合概率, 总希望辐射出的高功率微波是圆极化波。众所周知, 螺旋天线本身就有很好的圆极化性能。图 5 里也能明显的看出这一点, 在天线辐射的范围内, 波束的轴比最大不超过 1.35, 趋近 110 度时, 轴比趋近于 1.0。这样的圆极化性能满足高功率微波要求辐射出圆极化波的条件。

在图 6 里取了离天线端口 1m 处且在天线轴线上的电场波形, 在远场电磁场为横电磁波, 且轴向螺旋有较好的圆极化特性, 所以图 6 只取了

电场的 \mathbf{E}_z 分量。图中显示当天线馈入信号电压是 1V 时, 离天线端口 1m 处 \mathbf{E}_z 分量幅度达到 11V/m。

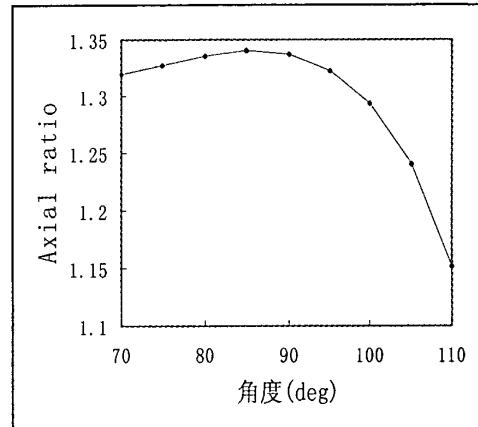


图 5 $f=0.5\text{GHz}$ 轴比波形

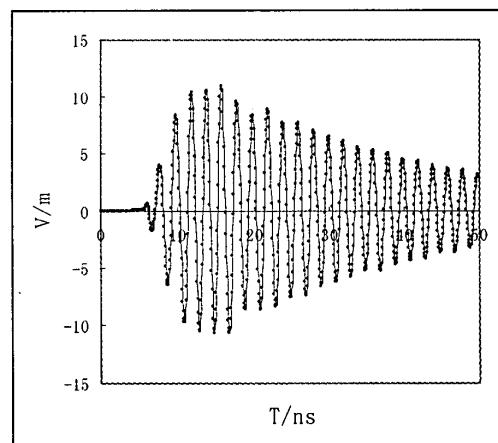


图 6 $y=1.6\text{m}$ \mathbf{E}_z 时域波形

通过离散傅立叶变换^[1]得到了图 7 中 \mathbf{E}_z 分量的频谱图, 图中表示该天线辐射信号的能量主要集中在 0.47GHz 至 0.52GHz 之间, 中心频率在 0.5GHz, 此处所占能量最大, 占据带宽大约是 10%, 这一带宽满足了宽带信号的要求。图 3 显示该天线在反射系数小于 0.29 的阻抗带宽远超过了 10%, 但是由于该天线所辐射能量带宽的限制, 天线带宽也就 10%左右, 所辐射出的信号为一宽带信号。

5、结论

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。

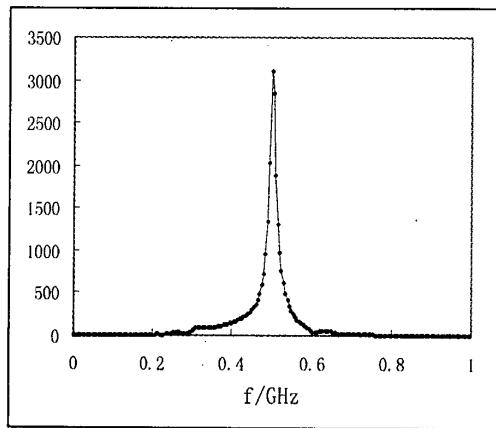


图 7 $y=1.6\text{mEz}$ 频谱图

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 worldwidh high-power wideband capabilityes. 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 Propogation, 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

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，一直致力于专注于微波、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>