

文章编号:1671-0576(2003)02-0036-04

一种平面等角螺旋天线及宽频带巴伦的研究

宋朝晖, 邱景辉, 张胜辉, 刘志惠, 杨彩田

(哈尔滨工业大学 电子与通信工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 分析了平面等角螺旋天线的研究方法, 设计了工作于 0.4~2 GHz 的双臂平面等角螺旋天线。根据天线的平衡结构和宽带特性, 设计了一种阻抗为指数渐变的微带线-平行双线形式的宽带巴伦, 并可采用 50 Ω 同轴电缆馈电。测量结果显示天线和巴伦表现出良好的圆极化和宽频带特性。

关键词: 宽频带天线; 螺旋天线; 宽带巴伦; 设计

中图分类号: TN 82 **文献标识码:** A

Study of A Planar Equiangular Spiral Antenna and the Relevant Wideband Balun

SONG Zhao-hui, QIU Jing-hui, ZHANG Sheng-hui, LIU Zhi-hui, YANG Cai-tian

(Dept Electronics and Communication Engineering, Harbin Institute of Technology,
Harbin Heilongjiang 150001, China)

Abstract: Analyzed the research technique of the planar equiangular spiral antenna. In this work the design and test of a wideband antenna and its match circuit is presented. The antenna is a double-armed planar equiangular spiral antenna and fed by 50 ohm coaxial-cable. To match the balance structure and the wideband character of the antenna, its balun is microstrip line-parallel wire which is exponentially gradual type. Test result shows that antenna and balun present good circular polarization and wideband character.

Key words: wideband antenna; spiral antenna; wideband balun; design

0 引言

天线的增益、输入阻抗、方向图等电特性参数

收稿日期: 2003-04-02

作者简介: 宋朝晖(1970-), 男, 博士研究生; 邱景辉(1960-), 教授; 张胜辉(1978-), 男, 硕士研究生; 刘志惠(1980-), 女, 硕士研究生; 杨彩田(1961-), 女, 副研究员; 均从事微波毫米波电路及天线的研究。

在一个较宽的频段内保持不变或变化较小的天线称为宽频带天线。一般情况下, 天线性能参数是随频率变化的。有一类天线, 它们的方向图和阻抗在相当宽的频带范围内与频率无关, 这就是所谓的频率无关天线。实现频率无关天线的方法主要有两种: 一是使天线的结构尺寸按某一特定比例因子变换, 典型的天线如对数周期天线; 另一种是天线的结构只由角度决定, 最典型的天线就是

等角螺旋天线。实际上,频率无关天线只是在一定的频率范围内电特性变化不大,只是频带宽度要远大于一般的宽带天线,所以也称之为超宽带天线。

本文所研究的是平面等角螺旋天线,它有很宽的工作频带,具有很好的应用前景,同时也是其它等角螺旋天线研究的基础。

1 平面等角螺旋天线

平面等角螺旋天线是一个完全由角度确定形状的天线,天线的外形可以用极坐标表示为 $r = r(\phi)$,如果矢径 r 增大(或减小)了 k 倍,相应的 kr 可以在另一个幅角上满足曲线方程式,只是把表示 $r = r(\phi)$ 的极坐标曲线旋转了一个角度,表达式为 $kr(\phi) = r(\phi - \beta)$ 。

此处 β 为相应 r 增大(或减小) k 倍时,整个原始曲线旋转的角度,具有这种性质的曲线方程式为

$$r = r_0 e^{a(\phi - \phi_0)} \quad (1)$$

式中, ϕ_0 为螺旋的起始角; r_0 为对应 ϕ_0 时的矢径; a 是一个与 ϕ 无关的常数, $1/a = \tan \alpha$ 称螺旋率; α 是螺旋线切线与矢径 r 之间的夹角,又称螺旋角。因而当 ϕ 变化时所描绘出来的平面螺旋线,其螺旋角始终保持不变,所以式(1)代表的曲线为等角螺旋线。

等角螺旋天线的形式上有单臂、双臂和四臂之分,在本设计中采用双臂等角螺旋天线。等角螺旋天线的每一臂都是有一定宽度的,且都是由两条起始角相差为 δ 的等角螺旋线构成。

对于双臂等角螺旋天线,如图 1 所示,两臂的四条边缘分别是

$$r_1 = r_0 e^{a\phi} \quad r_2 = r_0 e^{a(\phi - \delta)} \quad (2a)$$

$$r_3 = r_0 e^{a(\phi - \pi)} \quad r_4 = r_0 e^{a(\phi - \pi - \delta)} \quad (2b)$$

式中, r_1, r_3 分别为两臂的外边缘; r_2, r_4 分别为内边缘; δ 称为螺旋天线的角宽度。本文中取 $\delta = 90^\circ$, 则金属等角螺旋天线与其空隙部分的形状完全相同,这样的结构称为自互补结构。平面等角螺旋天线辐射圆极化波,最大辐射方向在天线平面两侧的法线方向上。天线的阻抗理论值为

188.5 Ω , 实测值约为 120 Ω ~ 140 Ω 。一般来说,天线臂长越大,则天线下限工作频率越低;天线始端半径越小,则上限频率越高。通常取螺旋径向长度 R 为下限频率波长的四分之一,始端半径为上限频率波长的四分之一。螺旋角 α 愈小螺旋曲率愈大,电流沿臂衰减愈快,波段特性愈好,通常取 0.221^[1]。

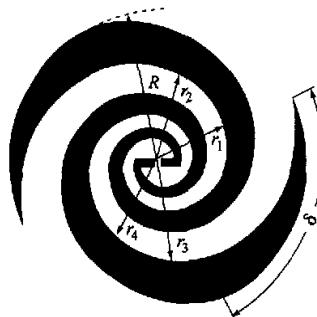


图 1 平面等角螺旋天线($\delta = 90^\circ$)

Fig. 1 Planar equiangular spiral antenna ($\delta = 90^\circ$)

2 宽频带巴伦

由于平面等角螺旋天线是平衡对称结构,其馈电系统也应采用平衡馈电方式。同轴线是传统的超宽带馈电线,具有良好的宽频带特性,但其馈电方式为非平衡馈电,所以需要增加相应的非平衡馈电到平衡馈电转换电路即巴伦的设计。

2.1 无限巴伦

由于在平面等角螺旋天线的工作区后电流衰减得很快,应用截断特性可以制成一个巴伦。这种巴伦可以避免在输入端相连的同轴线外导体上激励起电流,可将同轴电缆沿螺旋的一个臂焊起来,因为在天线扩展臂方向没有辐射,螺旋天线工作区后的结构上将不激励起电流,此时同轴线外屏蔽导体成为天线的一部分。为保持天线结构的对称性,焊一根假同轴线在另一臂上;这种装置被称为无限巴伦。

但是,同轴线电缆的标准特性阻抗为 50 Ω ,而平面等角螺旋天线的输入阻抗约为 140 Ω ,试验测试结果为:在整个频带范围内,反射损耗比较平

稳,但是大多在-5 dB~-10 dB之间,不满足设计参数指标要求。可见,无限巴伦虽然可以完成不平衡-平衡的转换,但还不能满足阻抗匹配的要求。

2.2 微带线到双线的非平衡-平衡转换巴伦

与同轴线相同,微带线馈电也为非平衡馈电方式。在满足频率要求的同时,从微带线转换到平行双线,是从非平衡馈电方式到平衡馈电方式变换的一种很好的选择。并且,可以在微带传输线到平行双线转换传输同时,引入阻抗变换电路,从而实现一定程度的阻抗匹配,可以达到良好的效果。

用四分之一波长阶梯阻抗匹配器来进行阻抗匹配,是实现阻抗匹配的有效方法。除此之外,还可以采用渐变线来实现阻抗匹配,在很宽的工作频带上都有比较好的性能。

设计采用的渐变线,即是随着阶梯阻抗变换器中阶梯的数目无限增多,每个阶梯的长度将无限缩短,则多阶梯式阻抗匹配器就可以看成是截面尺寸和截面特性阻抗连续变化的渐变线。渐变线的频带非常宽,功率容量也较大。其原理如图2所示。

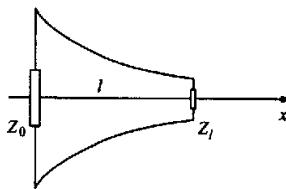


图2 渐变线阻抗匹配

Fig. 2 Gradual change line impedance matching

图中, l 为总长度; Z_0 为始端阻抗; Z_l 为终端阻抗。

设渐变线各个部分阻抗、导纳是坐标 x 的函数,分别为 $Z(x)$ 、 $Y(x)$ 。渐变线上的电压、电流满足以下的方程

$$\frac{dV}{dx} = -ZI \quad (3a)$$

$$\frac{dI}{dx} = -YV \quad (3b)$$

将两式合并,可得以下方程

$$\frac{d^2V}{dx^2} - \frac{d[\ln Z(x)]}{dx} \frac{dV}{dx} - Y(x)Z(x)V = 0 \quad (4a)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} - \frac{d[\ln Y(x)]}{dx} \frac{dI}{dx} - Y(x)Z(x)I = 0 \quad (4b)$$

上述方程为变系数微分方程,求解相当复杂。如果已知渐变线各点的阻抗 $Z(x)$ 和导纳 $Y(x)$,就可以得到电压 V 和电流 I 。

$$Z(x) = Z(0)e^{\delta x} \quad (5a)$$

$$Y(x) = Y(0)e^{-\delta x} \quad (5b)$$

式中, δ 是指指数线阻抗变化参量,为实数。这种渐变线称为指指数渐变线,与双曲线渐变线、抛物渐变线、贝塞尔渐变线及切比雪夫渐变线相比较,当 $1/\lambda < 0.5$ 时,指指数线的反射系数是最小的,而且频带极宽^[2]。因此,本文选用指指数渐变的微带线-平行双线作为平面等角螺旋天线的巴伦。如图3所示,巴伦由不平衡的微带结构逐渐过渡到平衡馈电的平行双线结构,其中地板和微带线均采用指指数渐变的方式,在工作频带内由输入端的 50Ω 变为输出端的 140Ω ,渐变线长度选为最低频率工作波长的二分之一^[3]。

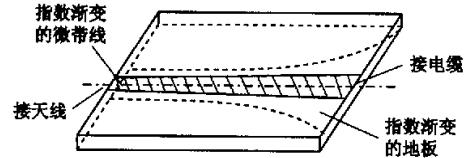


图3 指指数渐变的微带线-双线结构示意图

Fig. 3 Exponentially gradual microstrip line-parallel wire balun.

3 测试结果

采用 WILTRON 公司的 6409 标量网络分析仪测量了接有宽带巴伦的平面等角螺旋天线的反射损耗,如图4所示。在 0.4~2 GHz 工作频带内最大的反射损耗为-9.8 dB,相应的驻波系数(VSWR)为 1.96,反射损耗测量结果见图4。

在微波暗室内对天线的增益、轴比及方向图进行了测量,测试结果如表1和图5所示。

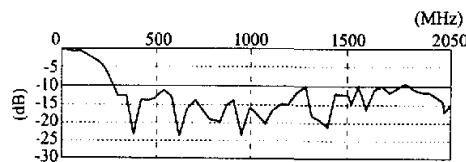


图 4 400 ~ 2000 MHz 接有巴伦的天线反射损耗

Fig. 4 Reflecting loss of planar equiangular spiral antenna work at 400 ~ 2000 MHz fed by wide-band balun

表 1 增益、轴比测试结果

Tab. 1 Experimental result on gain and axial ratio

频率(MHz)	400	800	1200	1600	2000
G(dB)	3.7	4.1	3.9	4.0	3.5
轴比	1.9	1.7	1.9	2.4	2.0

4 结论

设计并测试了工作频段在 0.4~2 GHz 的平面等角螺旋天线和阻抗指数渐变微带线-平行双线形式的宽带巴伦。测试结果显示天线和巴伦表现出良好的圆极化和宽频带特性, 频带内天线增益达到 3 dB 以上, 驻波系数小于 2, 轴比小于 2.5。通过测试结果可以看出, 指数渐变线巴伦可以起到很好的阻抗转换和非平衡-平衡馈电转换, 为超宽带天线的匹配网络设计提供了参考依据。

参考文献

- [1] 林昌禄, 聂在平. 天线工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 顾瑞龙, 沈民谊. 微波技术与天线[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.

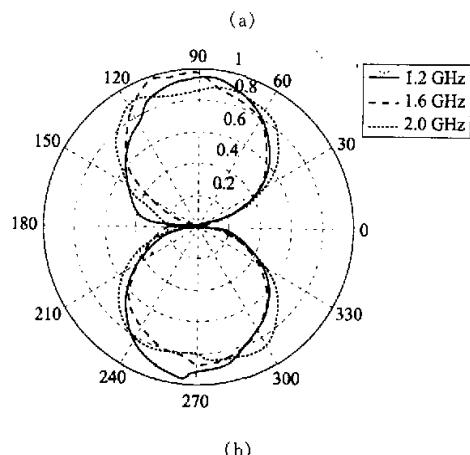
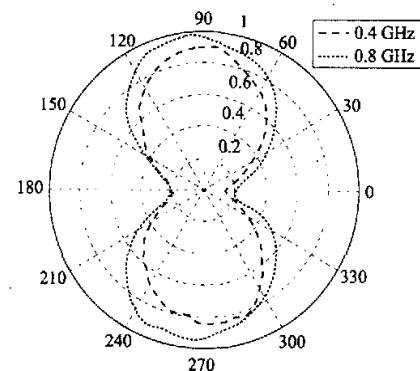


图 5 平面等角螺旋天线归一化方向图

Fig. 5 Directivity of planar equiangular spiral antenna

- [3] Hofer D, Tripp V. K. A low-profile broadband balun feed[J]. Antennas and Propagation Society International Symposium, AP-S. Digest, 1993, 1(1): 458-461.

敬告作者

本刊已全文入编《中文科技期刊数据库(全文版)》、《中国学术期刊(光盘版)》和“万方数据数字化期刊群”, 本刊所付稿酬包含稿件上网服务报酬, 不再另付。如不同意文章入编者, 请来函声明, 本刊将做适当处理。

本刊编辑部
2003年6月

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>