

利用 HFSS 设计平面等角螺旋天线

杜起飞

北京理工大学电子工程系 100081

摘要：本文介绍了一种双臂平面等角螺旋天线的设计过程，利用 ANSOFT HFSS 对其结构进行了建模和仿真，工作频率为 0.4GHz~3GHz，电压驻波比 VSWR<2.0，增益 Gain>5.0dB。

关键词：HFSS、等角螺旋天线、宽带匹配

1. 引言

天线的增益、输入阻抗、方向图等电特性参数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，这就是所谓的非频变天线。

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。

2. 利用 HFSS 设计平面等角螺旋天线

平面等角螺旋天线在 ANSOFT HFSS 中的模型如图1所示。它主要由平面螺旋辐射器、馈电电路板、普通反射腔和异形反射腔四部分组成。

2.1 平面等角螺旋天线

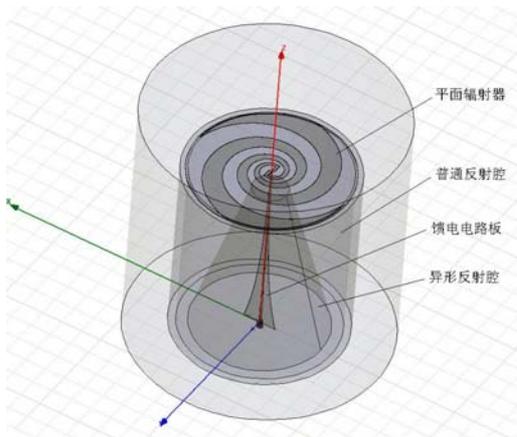


图 1 平面等角螺旋天线在 HFSS 中的模型

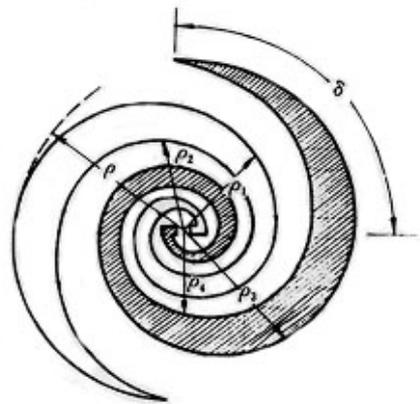


图 2 自补形平面等角螺旋天线

平面等角螺旋天线如图2所示，金属臂的四条边缘均为平面等角螺旋线。边缘1的方程为 $\rho_1 = \rho_0 e^{a\phi}$ ，边缘2相对于边缘1旋转角 δ ，故其方程为 $\rho_2 = \rho_0 e^{a(\phi-\delta)}$ 。天线另一臂的边缘应使结构对称，即一臂旋转半圈将于另一臂重合，因而有 $\rho_3 = \rho_0 e^{a(\phi-\pi)}$ 和 $\rho_4 = \rho_0 e^{a(\phi-\delta-\pi)}$ 。图中的结构是自补形，因而 $\delta = \pi/2$ 。

自补形平面等角螺旋天线两臂的四条边缘曲线为：

$$\begin{cases} \rho_1 = \rho_0 e^{a\phi} \\ \rho_2 = \rho_0 e^{a(\phi - \frac{\pi}{2})} \\ \rho_3 = \rho_0 e^{a(\phi - \pi)} \\ \rho_4 = \rho_0 e^{a(\phi - \pi - \frac{\pi}{2})} \end{cases} \quad (1)$$

对于自补形结构，方向图的对称性最好。由于平面等角螺旋天线的表面边缘仅由角度描述，因而满足非频变天线对形状的所有要求。

2.2 馈电电路板

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。

最常用的匹配方法为指数渐变线匹配。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，指数线的反射系数是最小的，而且频带极宽^[1]。因此，本文选用指数渐变的微带线到平行双线作为平面等角螺旋天线的馈电电路。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，其中接地板和微带线均采用指数渐变方式，在工作频带内由输入端的 50Ω 变为输出端的 140Ω ^{[2] [3]}。

指数线阻抗变换器是指传输方向按指数规律变化的传输线，即

$$Z_0(z) = Z_0(0)e^{az} \tag{2}$$

假定渐变线长为L，变阻比为R，即

$$\frac{Z_0(L)}{Z_0(0)} = R \tag{3}$$

则
$$a = \frac{1}{L} \ln R \tag{4}$$

当L选定后，随频率增高，波长愈短，反射系数总的趋势是越来越小。反射系数模的最大值为

$$|\Gamma(0)| = \frac{\lambda \ln R}{4\pi L} \tag{5}$$

因此，当阻抗变换比R为已知，在满足反射系数模不超过某一定值 $|\Gamma(0)|_{\max}$ 的条件下，可由上式确定指数线的长度

$$L = \frac{\lambda \ln R}{4\pi |\Gamma(0)|_{\max}} \tag{6}$$

2.3 反射腔

理论和实践证明，普通反射腔的侧壁对天线轴比和增益的影响较大，因此在设计时，在允许的尺寸范围内，应使腔体直径尽可能大。对于普通的平面等角螺旋天线，多在腔体内添入微波吸收材料，这样做可显著提高天线的驻波比、带宽和轴比特性，但是，天线的效率却大大下降，因此决定不加微波吸收材料。但这会使天线方向图带宽变窄。由于天线的能量主要集中在主辐射区，当频率改变时，它的主辐射区直径也随之改变。如果能够使反射波在任意频率点，它到达平面螺旋辐射器表面所经过的路径的长度都等于该频率波长的二分之一，那么该天线仍然满足宽频带特性^[4]。按照这种思路，我们设计了如图1所示天线结构中的异形反射腔。

异形反射腔体设计一般满足以下几点：

- (1) 顶端直径d处的周长等于其所对应频率点的主辐射区的周长。在这里，取为最高工作频率点的波长；
- (2) 顶端直径d处到平面螺旋辐射器表面的距离h等于其所对应频率点波长的四分之一。在这里，取为最高工作频率点波长的四分之一；
- (3) 底端直径D处的周长的取值同(1)，在这里取为最低工作频率点的波长；
- (4) 底端到平面螺旋辐射器表面的距离的取值H同(2)，在这里取为最低工作频率点波长的四分之一。

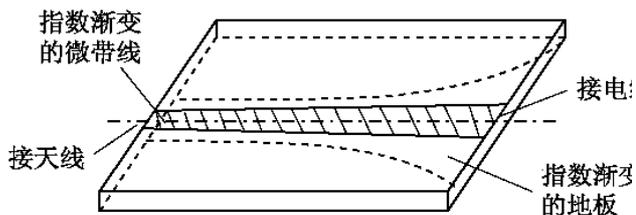


图3 指数渐变的微带线-双线结构示意图

3. 仿真结果

利用ANSOFT HFSS在0.4GHz~3GHz频率范围内对天线模型进行三维电磁场仿真。在整个频率范围内，增益 $\text{Gain} > 5\text{dB}$ 。其中 $f = 1.5\text{GHz}$ 的远场方向图如图4所示。最大增益约为7dB，半功率波瓣宽度为 80° 。天线的电压驻波比曲线如图5所示。

4. 结论

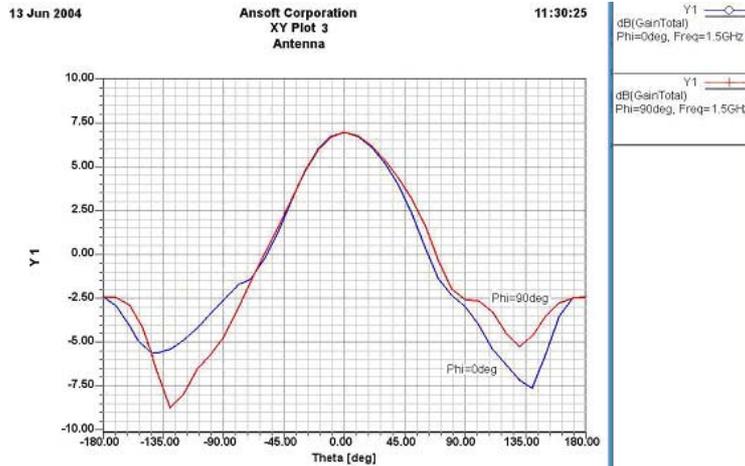


图4 天线远场方向图 $f = 1.5\text{GHz}$

利用ANSOFT HFSS软件可以很方便的对天线进行建模仿真。同时HFSS是一套具有高度的精确性和可靠性的微波CAD软件。借助于它，可以缩短我们的设计时间，提高工作效率。

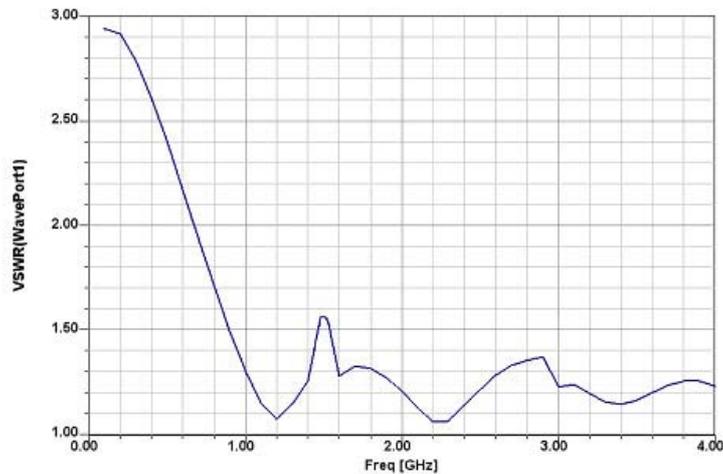


图5 电压驻波比曲线

参考文献:

- [1] 顾瑞龙, 沈民谊. 微波技术与天线[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980
- [2] 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
- [3] 宋朝辉等. 一种平面等角螺旋天线及宽频带巴伦的研究[J]. 制导与引信, 2003(6): 36-39
- [4] 李连辉. 自补型阿基米德平面螺旋天线的设计与分析[J]. 遥测遥控, 2003(7): 31-36

射频和天线设计培训课程推荐

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,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 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。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



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,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

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



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,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>