

一种小型平面螺旋天线

龙小专¹ 袁飞²

(西南电子设备研究所, 成都 四川, 610036)

摘要: 平面阿基米德螺旋天线是一种宽频带天线, 其尺寸由低端工作频率决定, 在许多实际应用中常需对其进行小型化设计。本文通过末端离散电阻加载设计, 实现了天线的小型化。本文结合设计的小型平面马欠德平衡器馈电装置, 得到了一种小型平面阿基米德螺旋天线。

关键词: 平面阿基米德螺旋天线, 小型化, 电阻加载, 平面马欠德平衡器

A Miniaturized Planar Spiral Antenna

Long Xiaozhuan¹ Yuan Fei²

(Southwest Institute of Electric Equipment, Chengdu, Sichuan, 610036)

Abstract: Planar Archimedean spiral antenna was a broadband antenna, whose dimension was determined by its lowest working frequency, and it's necessary to do some miniaturization design in many practical applications. The miniaturization of the antenna was realized by discrete resistance loading in the end of antenna. A miniaturized planar Archimedean spiral antenna was achieved, integrated with the feeding device of a miniaturized planar Marchand balun designed in this article.

Keywords: Planar Archimedean Spiral Antenna; Miniaturization; Resistance Loading; Planar Marchand Balun

1 引言

平面阿基米德螺旋天线是一种宽频带天线, 因其具有结构紧凑、重量轻、输入阻抗恒定、相位中心固定、辐射圆极化波等特点, 在诸多领域有着重要的应用^[1]。

随着系统的发展要求, 天线的小型化成为天线设计中的重要发展方向。一般来说, 圆形平面阿基米德螺旋天线的外径至少应大于最低工作频率的波长除以 π 。若需再扩展天线的低端工作频率, 或减小天线的尺寸, 则需对天线进行小型化设计。在众多的小型化技术中, 电阻加载不仅可以减小天线的驻波比, 还可以显著减小天线的轴比, 其应用最为广泛^[2]。本文采用这种技术, 对平面阿基米德螺旋天线末端进行离散电阻加载, 并应用所设计的小型平面马欠德平衡器, 最终得到一个工作于 2.5GHz~6GHz 的平面螺旋天线, 其总尺寸仅为 $\Phi 30\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。

2 电阻加载

平面阿基米德螺旋天线一般由辐射螺旋面、馈电平衡器和背腔三大部分构成。在天线的设计中, 可先分别对三个部分进行设计, 然后再进行综合设计。辐射螺旋面一般是在一块圆形的介质基板的一个面上印制两根或多根螺旋线, 螺旋线的半径随角度变化而均匀的增加, 其极坐标方程可表示为:

$$r = r_0 + a\phi \quad (1)$$

式(1)中, r_0 是起始半径, a 为螺旋增长率, ϕ 是以弧度表示的幅角。双臂平面阿基米德螺旋天线如图 1(a)所示。

平面阿基米德天线一般在螺旋面的中心起始端两点采用平衡馈电, 而主要辐射区域是集中在平均周长为一个波长的那些环带上, 也称有效辐射区。当频率改变时, 有效辐射区随之改变, 但辐射方向图基本不变。而当有效辐射区为天线的最外圈区域

时，其频率即为天线的最低工作频率。对于圆形螺旋面，周长 $C = \pi \times D = \lambda_{\max}$ ，则可得天线外径：

$$D = \lambda_{\max} / \pi \quad (2)$$

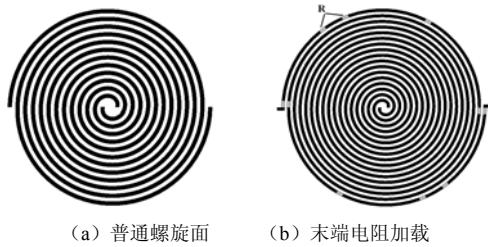


图 1 阿基米德螺旋面及电阻加载示意图

本文设计的天线，其口径尺寸不大于 $\Phi 30\text{mm}$ ，工作频率为 $2.5\text{ GHz} \sim 6\text{GHz}$ 。由式 (2) 计算得天线最低工作频率为 3.18GHz 。作为验证，在 HFSS 中对其进行仿真模拟。采用厚度为 0.508mm 的 Duroid 5880 基材，其介电常数为 2.2，螺旋线宽度和间距均取 0.4mm 。一般地，螺旋线宽和间距相等的自补型阿基米德螺旋面的输入阻抗为 125Ω 左右，因此仿真模拟时在螺旋面中心处采用 125Ω 的平衡馈电。在图 2 的驻波比和轴向轴比仿真结果表明，该尺寸的普通辐射螺旋面，不能满足 $2.5\text{GHz} \sim 6\text{GHz}$ 的工作要求。

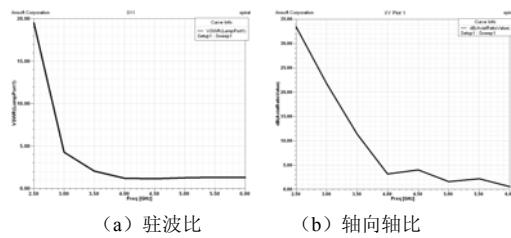


图 2 普通螺旋面仿真结果

普通辐射螺旋面不能满足指标要求，因此对其进行电阻加载设计。阿基米德螺旋天线可视为行波天线，电流从中心馈电处逐渐流向外围。天线上的电流在流过有效辐射区之后并不明显的减小，以致天线结构在终端被截断后，电特性将受到一定的影响。为了避免此现象的发生，可在终端进行电阻加载，以吸收末端电流，减小终端反射对天线电性能的影响，改善天线的驻波比和轴比等性能，从而有效扩展天线的低端工作频率。

如图 1 (b) 所示，在实际工程设计中，可在普通辐射螺旋面的基础上，取天线的最后半圈进行截断，截断处焊接一定阻值的贴片电阻。截断剩余的几条金属条带长度及焊接的电阻阻值均可作为设计和优化的参数，但一般来说，现有的贴片电阻的阻

值是一定的，因此通常将金属条带的长度作为可变的参数进行优化设计。本文中，将螺旋线的最后半圈分成四段，每段弧长（即两个电阻之间的间距）所对应的角度及每个加载的电阻阻值如表 1 所示。

表 1 末端分段长度对应角度及加载电阻值

R1-R2	R2-R3	R3-R4	R4-R5	
65 rad	50 rad	15 rad	50 rad	
R1	R2	R3	R4	R5
33Ω	56Ω	91Ω	150Ω	270Ω

在 HFSS 中进行仿真计算，得到电阻加载辐射螺旋面的性能结果如图 3 所示。

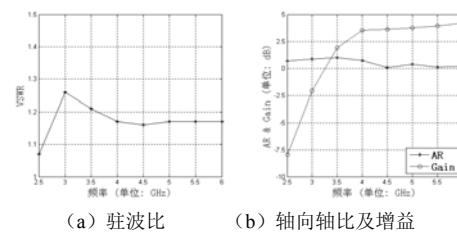


图 3 电阻加载螺旋面仿真结果

从图 3 中可见，由于采用末端离散电阻加载设计，天线的驻波比和轴向轴比明显减小，其中驻波比在 $2.5\text{GHz} \sim 6\text{GHz}$ 频段内小于 1.3，轴向轴比在整个频段内小于 2dB 。对比未进行电阻加载的普通螺旋面，其驻波比和轴向轴比性能，尤其是低端频率性能，得到了明显改善。可见，对螺旋面进行末端离散电阻加载，可有效改善天线的低端频率特性，扩展天线的低端工作频率。

3 平衡器及综合设计

从图 1 中可见，螺旋面是一种平衡结构，而常用的同轴馈线、微带线是非平衡结构，如果直接采用非平衡的同轴线、微带线对螺旋面馈电，就会在同轴线外导体外壁或微带线的地板外侧上形成电流。该电流在空间中的辐射场会与螺旋面的辐射场叠加，从而影响了原螺旋面的方向图，造成天线方向图的歪头、凹顶等。其次，自补型螺旋面的输入阻抗为 125Ω 左右，而同轴线的特性阻抗为 50Ω ，如果直接将两者连接，由于阻抗的不匹配，电磁波会在连接处产生很大的反射，从而恶化天线的驻波比和增益等性能。

平衡器的设计就是为了解决上述两个问题^[3]。目

前常用的宽带平衡器主要有无限巴伦、微带线到双线的转换巴伦和马欠德平衡器三种。无限巴伦可解决平衡问题，但不能解决阻抗不匹配问题^[4]；微带线到双线的转换巴伦可很好的解决宽带阻抗匹配问题，但不能解决宽带平衡问题，且一般来说，其渐变线长度为最低频率波长的一半。马欠德平衡器可同时解决宽带平衡与宽带匹配的问题，被广泛用作各种平面螺旋天线的平衡器^[5]。

马欠德平衡器及其等效电路图如图 4 所示。从图 4(a)中的等效电路图可见，输入端接电长度为 θ_1 、特性阻抗为 Z_1 的传输线，然后串联电长度为 θ_2 、特性阻抗为 Z_2 的终端开路传输线；并联电长度为 θ_3 、特性阻抗为 Z_3 的终端短路传输线，形成平衡输出。再经过电长度为 θ_4 、特性阻抗为 Z_4 的传输线进行阻抗变换后，实现对所需阻抗的平衡输出。一般地，串联开路线和并联短路线的长度为 $\lambda_0/4$ 。当频率变化，其长度偏离 $\lambda_0/4$ 时，串联线和并联线的阻抗可以相互补偿，从而展宽了工作频带。若选取 $Z_1 = Z_0$ ， $Z_2 = Z_0/4$ ， $Z_3 = 4Z_0$ 时，上下限工作频率覆盖可达 4:1，负载 $R = Z_0$ 。当负载 $R \neq Z_0$ 时，可通过调整开路线和短路线的阻抗值及长度得到所需的阻抗变换比 (R/Z_0) 和频率覆盖范围^[3]。

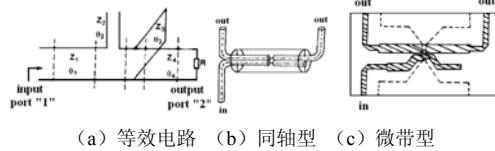


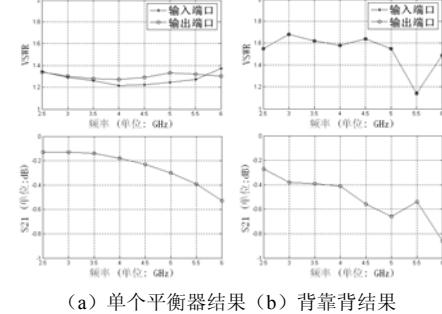
图 4 马欠德平衡器

根据马欠德平衡器的原理，在 HFSS 中进行微带线型平衡器的建模和仿真设计，模型如图 5 (a) 所示。仍采用厚度为 0.508mm 的 Duroid 5880 基材。输入端为特性阻抗为 50Ω 的微带线，在地板开槽对应处后接长度约为 $\lambda_0/4$ 的开路线，宽度对应于开路线的阻抗；地板中心开槽，槽宽对应于短路线的阻抗；地板在微带线转折对应处以后宽度逐渐减小，最后减小为所需馈电的螺旋线宽。为了对螺旋天线进行馈电，输出端设置为特性阻抗为 125Ω 的平衡端口。通过 HFSS 仿真，并对开路线宽、开槽宽度、长度等参数进行优化，最后得到单个平衡器和背靠背结构的平衡器仿真结果如图 6 所示。



(a) 单个平衡器 (b) 背靠背结构

图 5 微带马欠德平衡器



(a) 单个平衡器结果 (b) 背靠背结果

图 6 微带马欠德平衡器仿真结果

从图 6 中可见，本文设计的微带线型马欠德平衡器在 2.5GHz~6GHz 的驻波比 < 2，插入损耗 < -1dB，可用作平面螺旋天线的馈电装置。

将该平衡器与前述之电阻加载螺旋面结合，并设置背腔，最终得到平面螺旋天线模型及仿真结果如图 7 所示。

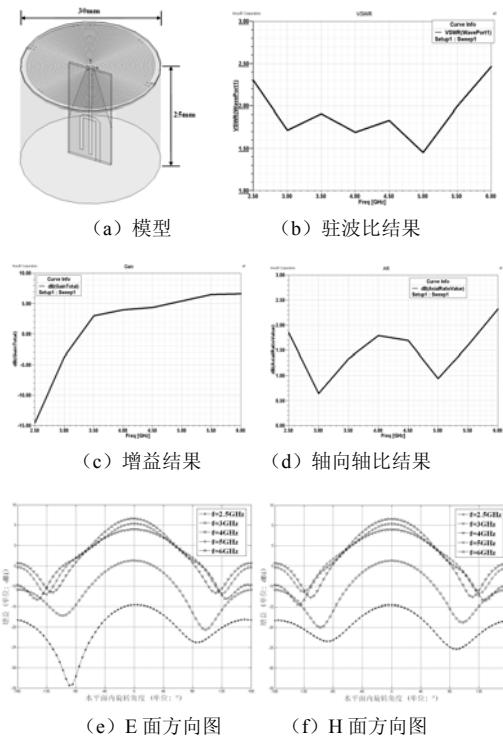


图 7 天线整体模型及综合仿真结果

从图 7 的仿真结果可见，在 2.5GHz~6GHz 的频段内，天线的驻波比 ≤ 2.5 ，增益 $\geq -15\text{dBi}$ ，轴向比 $\leq 3\text{dB}$ ，方向图最大辐射方向为正前向 0° 方向，

无波束歪头和凹顶，主瓣宽度约为 $60^\circ \sim 90^\circ$ ，满足系统指标要求。

4 结论

本文在普通平面阿基米德螺旋面的基础上，采用末端离散电阻加载技术，仿真设计了一种小型平

面阿基米德螺旋面，并结合设计的平面马尔德平衡器，所得平面螺旋天线，各项指标均圆满达到设计要求。电阻加载技术能改善平面螺旋天线的驻波比和轴比等性能，从而扩展了天线的工作频带，提高了天线的实用范围。

参 考 文 献

- [1] 林昌禄. 天线工程手册 [M]. 北京：电子工业出版社， 2002.
- [2] H. Nakano, H. Mimaki, J. Yamauchi, and K. Hiroset. A Low Profile Archimedean Antenna [J]. Antenna and Propagation Society International Symposium , 1993.
- [3] V. Trifunovic, B. Jokanovic. Review of printed Marchand and double Y baluns: characteristics and application[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1994. 42 (8).
- [4] 尹应增, 夏静改, 龚书喜, 刘其中. 宽频带微带传输线巴伦的研究[J]. 电波科学学报, 1999. 2.
- [5] J. Dyson. The Equiangular Spiral Antenna[J]. IRE Transactions on Antennas and Propagation, AP-7, April, 1959.

作者简介：

龙小专，男，助理工程师，主要研究领域为宽带天线；

袁飞，男，工程师，主要研究领域为计算电磁学和宽带天线等。

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>