

# 基于 ADS 与 HFSS 的带状线功分器的设计与实现

马子余

(浙江纺织服装学院 浙江 宁波 315211)

**摘要:** 阐述了一种新颖的仿真方法用于设计带状线功分器,该方法将 ADS 与 HFSS 联合使用,并以一款带状线功分器的设计为例,在较短时间成功制备出工作频率 700~2 700 MHz,回波损耗小于-22 dB,插入损耗为 3.1 dB(含分配比),带内波动小于 0.1 dB,隔离度大于 20 dB 的高质量带状线功分器。通过比较仿真和测试结果,两者基本一致,这表明该仿真方法可大大提高仿真效率,缩短研发周期。

**关键词:** 带状线功分器;ADS;HFSS;Wilkinson

中图分类号: TN626

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2011)20-0124-03

## Design of stripe splitter based on ADS and HFSS

MA Zi-yu

(Zhejiang Textile&Fashion College, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** A way of how to design a two-way-splitter based on ADS and HFSS is described. According to the simulation results, produces a two way splitter in a short time, its performance parameters and simulation results are in agreement. The final performance parameters to achieve: working frequency is 700~2 700MHz, return loss is less than -22dB, isolation is greater than 20dB, insertion loss is less than 3.1dB (including the distribution ratio), ripple is less than 0.1 dB. The method of joint use of ADS and HFSS greatly improved the efficiency of the design.

**Key words:** strip-line power splitter; ADS; HFSS; Wilkinson

微波功分器是无源微波器件,用于功率分配或功率合成。在微波系统中,需要将输入功率按一定的比例分配到各输出端口,如微波信号分离、阵列天线馈电等,在微波系统中有着广泛的应用。它的性能直接影响到整个系统功率分配和合成效率。自从1960年Wilkinson首次提出N路耦合的功率分配器后,功分器得到了广泛的研究,并越来越为人们所重视,成为高频电路中使用最为广泛的微波器件之一,在微波功率传感器、混频、相位检测等电路中均有应用<sup>[1]</sup>。

功分器为通信系统中最常用的无源器件之一,功分器主要有同轴腔体功分器、微带线功分器与带状线功分器<sup>[2-6]</sup>。其中微带功分器的优点是体积小、隔离度大,但同时存在功率容量小、插入损耗大的缺点<sup>[7-9]</sup>;同轴腔体功分器的优点是功率容量大、插入损耗小,其缺点是体积大、隔离度小。因此在对功率容量与隔离度都有要求的情况下同轴腔体功分器与微带线功分器就难以满足要求,而带状线功分器则可以同时满足较大的功率容量与隔离度。

在众多的仿真软件中,ADS为基于矩量法的2.5D电磁仿真软件,其设计平面结构器件时有较大的优势,而在带状线功分器设计过程中,单独采用ADS仿真则存在仿真精度不高的缺点,导致ADS仿真结果与实测结果有较大的出入,但ADS具有仿真优化速度快的优点,并可实时观察结构参数变

化引起的性能参数的变化趋势。HFSS为基于有限元的3D电磁仿真软件,其对分析仿真任意三维无源结构的高频电磁场仿真优化精度较高,但由于软件算法本身原因,存在计算量较大仿真优化速度较慢的缺点。因此将ADS与HFSS结合使用,可先用ADS仿真快速得到优化结果,然后将ADS仿真结果输入HFSS中进行二次仿真优化,以提高仿真精度与设计效率。

## 1 设计原理与方法

### 1.1 设计原理

本功分器为工作频率在700~2 700 MHz的二路等功分器,因此选择Wilkinson功分器结构。由于 $f_2/f_1 \approx 3.86$ 查表可知,节数选取4节基本可以满足本次设计要求,结构原理图如图1所示。

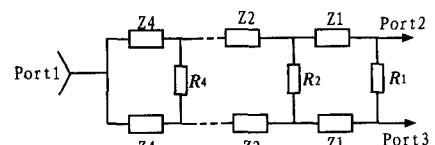


图1 4节2路等功分器

Fig. 1 Four section two way splitter

运用等波纹切比雪夫多节阻抗变换原理,计算可得 $Z_1=55.52 \Omega$ 、 $Z_2=64.64 \Omega$ 、 $Z_3=77.36 \Omega$ 、 $Z_4=90.06 \Omega$ 。由于节数大于3节,隔离电阻数值不容易通过严格的综合方法求出,但仍可

收稿日期:2011-07-16

稿件编号:201107066

作者简介:马子余(1962—),男,浙江东阳人,讲师。研究方向:数据采集与过程控制,无线传感器网络,无线通信。

仿照阶梯阻抗变换的分析方法,求出包括所有隔离电阻的影响在内的输入反射系数 $\Gamma_0$ 数。但是 $\Gamma_0$ 一般说来不可能严格满足等波纹切比雪夫特性,取近似,得到计算公式如下:

$$g_1 = 1 - \gamma_1 \tag{1}$$

$$g_k = \frac{\gamma_{k-1} - \gamma_k}{\gamma_{k-1} T_1 T_2 \cdots T_{k-1}}, k=2, 3, \dots, N-1 \tag{2}$$

$$T_k = \frac{4\gamma_{k-1}\gamma_k}{(\gamma_{k-1} + \gamma_k + 2g_k)^2} \tag{3}$$

$$g_N = \frac{\frac{1}{2}\gamma_{N-1}^2}{-2g_{N-1} + \frac{\gamma_{N-2}^2}{-2g_{N-2} + \frac{\gamma_{N-3}^2}{\circ - 2g_2 + \frac{\gamma_1^2}{-2g_1 + 1 + 0.7(\rho_{90} - 1)}}}} \tag{4}$$

其中, $\gamma_N$ 为归一化导纳, $g_N$ 为归一化隔离电导。 $\rho_{90}$ 是偶模阶梯阻抗转换在 $\theta=90^\circ$ 时的驻波比,对切比雪夫响应来讲,当 $N$ 是奇数时 $\rho_{90}=1$ ;当 $N$ 为偶数时, $\rho_{90}$ 为频带内最大驻波比<sup>[10]</sup>。

根据式(1)~(4)可求得各节的隔离电阻为

$$R_1=503 \Omega, R_2=145 \Omega, R_3=170 \Omega, R_4=101 \Omega。$$

考虑到经济效益及机械加工效率,将该功分器采用的腔体深度为5.5 mm,内导体厚度为0.5 mm。利用ADS软件将每节阻抗换算成内导体的宽度与长度,其中 $Z_1$ 的线宽为5.60 mm, $Z_2$ 的线宽为4.42 mm, $Z_3$ 的线宽为3.24 mm, $Z_4$ 的线宽为2.40 mm,每节长度为44.09 mm。

### 1.2 设计方法

根据相关的理论计算,得到功分器相关的腔体尺寸结构与内导体尺寸结构。针对理论计算所得数据,在ADS中进行相应的仿真,其中SSUB模块中设定腔体深度为5.5 mm,内导体厚度为0.5 mm;在保证每节长度的前提下将其分为3~4小节,每小节的连接使用TLines-Stripline中的SMITER相连;在VAR功能模块中设置相应的变量参数及相应的变化范围;在S-PARAMETERS模块中设定频率范围为700~2 700 MHz;在GOAL模块中设定输入输出驻波、插损及隔离度的优化目标;在OPTIM模块中选用random的优化模式。通过ADS仿真优化满足设定的优化目标后,确定VAR中最终的优化参数值。

由于在HFSS中直接绘制内导体存在一定的不便,因此首先根据ADS中的最终优化参数值在AUTOCAD中画出内导体的平面图,然后将此平面图导入HFSS中。其中CAD中的平面图必须为闭合的线段组成,否则导入HFSS中时会出现错误。将导入的内导体平面设定厚度为0.5 mm,根据内导体的形状画出外腔体,设定腔体深度为5.5 mm,要求内导体处于腔体深度中心位置。根据隔离电阻的大小在每节的中心画出一平面,在平面上添加相应大小阻值的电阻。然后根据HFSS的仿真结果对内导体与腔体的尺寸结构进行相应的修改直到满足设计要求为止。

最后根据HFSS中的各项参数值,最终确定实物的各项形状参数,并进行机械加工。其中腔体的深度对功分器相关参数影响较大,而宽度尺寸则对于功分器的相关参数影响不

大,因此在设计腔体具体长宽尺寸时考虑到加工装配及内导体的安装方便可对腔体内部形状做适当的改变。

## 2 仿真与测试

根据理论计算结果,在ADS中建立相应的模型,模型根据图1的功分器结构原理图,设定为4节(不包括输入与输出端口部分),由于每节长度为44.09 mm,考虑到加工及安装方便,将每节形状设定为弯曲状。将内导体每一节的宽度、长度、厚度以及隔离电阻设为优化参数并设定参数取值范围,设定优化目标为 $S_{11}$ 小于-25 dB, $S_{12}$ 小于-3.1 dB, $S_{22}$ 小于-25 dB, $S_{23}$ 小于-20 dB,在ADS中进行多次自动优化后得到的结果如图2所示,可以发现优化结果已达到优化目标。

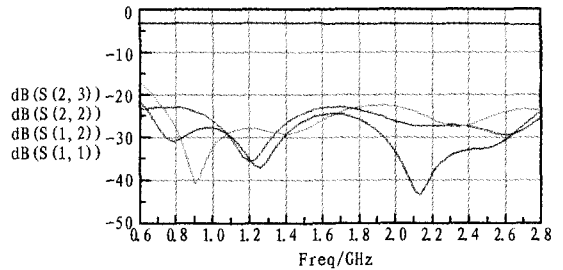


图2 ADS仿真结果

Fig. 2 Simulation results of ADS

为了进一步提高仿真的精度,在HFSS中建立3D模型,功分器三维模型如图3所示。并将ADS优化后结构参数输入HFSS进行三维仿真。首次仿真后发现HFSS仿真结果与ADS仿真结果有一定的差异,特别是输入驻波完全不能满足设计要求,因此需要对功分器结构参数进行再次优化。

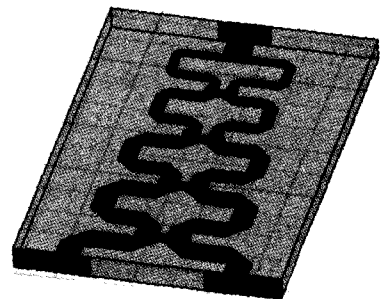


图3 HFSS中2路功分器三维模型

Fig. 3 3D model of two way splitter in HFSS

在HFSS中设定参数范围,采用自动优化功能虽然方便,但耗时较长。为了提高仿真效率,首先在ADS中利用Tunning功能分析功分器各结构参数对性能指标的影响,并根据这一规律调整HFSS模型中内导体的结构参数。经过调整结构参数 HFSS仿真优化结果如图4所示,可以发现功分器各端口回波损耗小于-22 dB;插损为3.02 dB,且其带内波动小于0.05 dB;隔离度大于22 dB,仿真结果已完全满足实际需求。

按照HFSS中的优化结果,制作得到实物如图5所示,其中功分器外形尺寸为130 mm×96 mm×11 mm,连接器采用N头连接器。为了提高功分器的三阶互调,将腔体内部与内导体

进行电镀处理,腔体镀层材料与厚度为:铜镀层 $5\ \mu\text{m}$ ,银镀层 $5\ \mu\text{m}$ ;内导体镀层材料与厚度为:银镀层 $5\ \mu\text{m}$ 。

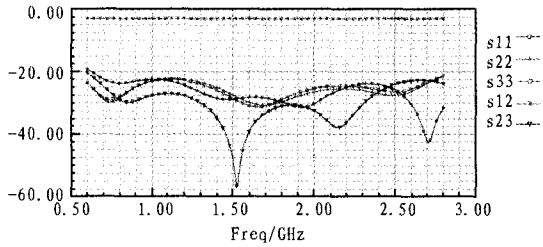


图4 HFSS仿真结果

Fig. 4 Simulation results of HFSS

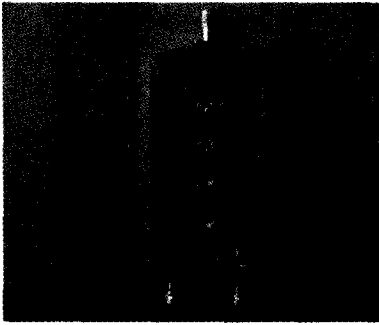


图5 功分器实物图

Fig. 5 Photo of two-way splitter

实物测试结果如下:

功分器样品输入端口回波损耗小于 $-23\ \text{dB}$ ,其中 $700\sim 800\ \text{MHz}$ 频率范围内输入回波损耗小于 $-23\ \text{dB}$ , $800\sim 2\ 700\ \text{MHz}$ 频率范围内输入回波损耗小于 $-29\ \text{dB}$ ;左端输出端口回波损耗小于 $-22\ \text{dB}$ ,其中 $700\sim 2\ 600\ \text{MHz}$ 频率范围内回波损耗小于 $-27\ \text{dB}$ , $2\ 600\sim 2\ 700\ \text{MHz}$ 频率范围内回波损耗小于 $-22\ \text{dB}$ ;右端输出端口回波损耗小于 $-23\ \text{dB}$ ,其中 $700\sim 2\ 600\ \text{MHz}$ 频率范围内回波损耗小于 $-29\ \text{dB}$ , $2\ 600\sim 2\ 700\ \text{MHz}$ 频率范围内回波损耗小于 $-23\ \text{dB}$ ;功分器插损为 $3.05\ \text{dB}$ ,且其中输入端口至左端输出端口带内波动小于 $0.1\ \text{dB}$ ,具体插损范围在 $-2.99\sim 3.09\ \text{dB}$ 内波动,输入端口至右端输出端口带内波动小于 $0.05\ \text{dB}$ ,具体插损范围在 $-2.99\sim 3.01\ \text{dB}$ 内波动;功分器隔整体高度大于 $20\ \text{dB}$ ,其中最小值 $20.5\ \text{dB}$ 出现在频率 $2.65\ \text{GHz}$ ,最大值 $44\ \text{dB}$ 出现在频率 $1.3\ \text{GHz}$ 。可以发现功分器样品的各性能指标优良,与仿真结果有较好的吻合。

### 3 结论

笔者通过将ADS与HFSS联合使用的仿真方法,在较短时间内设计制作了一款大功率、高隔离、宽频带的2路带状线功分器。当功分器工作在 $700\sim 2\ 700\ \text{MHz}$ 频率范围时,其主要性能指标为:端口回波损耗小于 $-22\ \text{dB}$ ;插损为 $3.1\ \text{dB}$ (含分配比),带内波动小于 $0.1\ \text{dB}$ ;隔离度大于 $20\ \text{dB}$ ,完全满足实际

使用需求。通过比较仿真和测试结果,两者基本一致,这表明该仿真方法可大大提高仿真效率,缩短研发周期。

#### 参考文献:

- [1] 黄文,刘长军.基于人工传输线的小型微带Wilkinson功分器[J].强激光与粒子束,2010,22(1):123-126.  
HUANG Wen, LIU Chang-jun. Design of miniaturized microstrip wilkmon power divider based on artificial lines[J]. High Power Laser and Partial Beams, 2010, 22(1): 123-126.
- [2] James J R, Hall P S. Handbook of microstrip antennas [M]. Lonclon: Peter Peregrinus Ltd., 1989.
- [3] 赵培杰,吕善伟.宽频带任意比功分器的微带线实现[J].电子测量技术,2006,10(3):142-143.  
ZHAO Pei-jie, LV Shan-wei. Design of microstrip mixed wideband power divider[J]. Electronic Measurement Technology, 2006, 10(3): 142-143.
- [4] 韩淑萍,李铭祥.高隔离度一分三功分器的设计[J].上海大学学报:自然科学版,2004,10(6):559-561.  
HAN Shu-ping, LI Ming-xiang. Design of one-three power divider with high isolation[J]. Journal of Shanghai University: Natural Science, 2004, 10(6): 559-561.
- [5] Moustafa J, Abd-alhameed P A, Ibrahim B, et al. Power splitter design for two-element antenna array with high mutual coupling[J]. Electronics Letters, 2006, 42(4): 195-196.
- [6] HSU Chih-wei, CHEN Hsuen-li, WANG Way-seen, et al. Compact Y-branch power splitter based on simplified coherent coupling [J]. Photonics Technology Letters, IEEE, 2003, 15(8): 1103-1105.
- [7] 程敏锋,刘学观.微带型Wilkinson功分器设计与实现[J].现代电子技术,2006,29(24):25-26.  
CHENG Min-feng, LIU Xue-guan. Design and realization of microstrip wilkinson power divider [J]. Modern Electronics Technique, 2006, 29(24): 25-26.
- [8] TSENG Chao-Hsiung, CHANG Chih-Lin. A broadband quadrature power splitter using metamaterial transmission line[J]. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, 2008, 18(1): 25-27.
- [9] 李小玲,王家礼.一种新型的大功率分配器的设计[J].现代电子技术,2005,28(24):20-22.  
LI Xiao-ling, WANG Jia-li. Design of a new high-power splitter [J]. Modern Electronics Technique, 2005, 28(24): 20-22.
- [10] 清华大学《微带电路》编写组.微带电路 [M].北京:人民邮电出版社,1976.

## HFSS 视频培训课程推荐

HFSS 软件是当前最流行的微波无源器件和天线设计软件，易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))是国内最专业的微波、射频和天线设计培训机构。

为帮助工程师能够更好、更快地学习掌握 HFSS 的设计应用，易迪拓培训特邀李明洋老师主讲了多套 HFSS 视频培训课程。李明洋老师具有丰富的工程设计经验，曾编著出版了《HFSS 电磁仿真设计应用详解》、《HFSS 天线设计》等多本 HFSS 专业图书。视频课程，专家讲解，直观易学，是您学习 HFSS 的最佳选择。



### 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>

### 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>



### 更多 HFSS 视频培训课程:

#### ● 两周学会 HFSS —— 中文视频培训课程

课程从零讲起，通过两周的课程学习，可以帮助您快速入门、自学掌握 HFSS，是 HFSS 初学者的最好课程，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/1.html>

#### ● HFSS 微波器件仿真设计实例 —— 中文视频教程

HFSS 进阶培训课程，通过十个 HFSS 仿真设计实例，带您更深入学习 HFSS 的实际应用，掌握 HFSS 高级设置和应用技巧，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/3.html>

#### ● HFSS 天线设计入门 —— 中文视频教程

HFSS 是天线设计的王者，该教程全面解析了天线的基础知识、HFSS 天线设计流程和详细操作设置，让 HFSS 天线设计不再难，网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/4.html>

#### ● 更多 HFSS 培训课程，敬请浏览: <http://www.edatop.com/peixun/hfss>

## 关于易迪拓培训：

易迪拓培训([www.edatop.com](http://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](http://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相关培训课程和 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>