

S-Band 3dB 定向耦合器的优化设计及应用

张敬如^{1,2;1)} 赵凤利¹ 裴士伦¹

1 (中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 3dB 定向耦合器在组成微波器件中有着广泛的应用, 在我们的实验室中最常用到的带有 3dB 定向耦合器的微波器件是移相器、衰减器和能量倍增器等, 3dB 定向耦合器的性能参数对上述器件的性能起着决定性的作用. 在对原有 S-band 3dB 定向耦合器模拟研究的基础上, 通过对不同组数据的分析比较, 提出了此结构的优化设计方案. 重新设计后的 3dB 定向耦合器不仅简化了加工工艺, 而且驻波比、不平衡度、隔离度都达到了更好的效果. 将新设计的定向耦合器应用到移相器中, 通过对新老移相器的模拟和测试结果的比较可以看到移相器的各项指标均比原来有所提高, 而这也是以往移相器所无法达到的新指标. 对新加工的移相器试验件的测试数据表明, 实验测试和模拟计算的一致性很好.

关键词 3dB 定向耦合器 移相器 驻波比 平衡度 隔离度

1 引言

3dB 定向耦合器在组成微波器件中有着广泛的应用, 它是移相器、衰减器、桥式调配器等微波元件的重要组成部分, 它的性能好坏直接影响所构成微波器件的特性. 现有定向耦合器构成的微波器件, 如移相器、衰减器等特性达不到良好的效果, 主要原因就在于 3dB 定向耦合器的设计不够理想. 本文通过对原设计和新设计的比较, 给出了新的设计数据, 并对新老设计在公差等方面进行了比较. 通过试验可以看到, 新的设计数据在应用于移相器后达到了良好的效果, 移相器的性能有了大大的提高.

2 定向耦合器的主要参数

图1为定向耦合器工作原理示意图, 当 TE_{10} 波从端口1输入并经过耦合裂缝后, 在3和4端口的功率输出相等, 并且3和4端口输出波之间有 90° 的相位差, 同时电桥的端口2无功率输出, 即1, 2口是彼此隔离的. 它的主要参数如下^[1]:

1) 耦合度: 它定义为1口输入功率与4口输出功率之比的分贝数.

2) 方向性: 它定义为4口和2口输出功率比的分贝数. (理想情况下 $p_2 = 0$).

3) 隔离度: 它定义为1口输入功率与2口输出功

率之比的分贝数. 对于理想的电桥, $I = \infty$.

4) 平衡度: 它定义为电桥4口输出功率和3口的输出功率之比的分贝数. 理想的3dB桥, $B = 0$.

5) 输入驻波比: 它是当2, 3, 4端口均接匹配负载时从1口测得的驻波比.

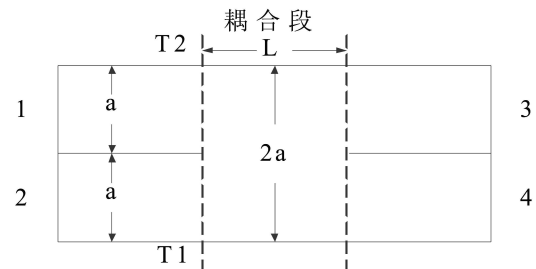


图1 耦合器工作原理示意图

3 定向耦合器的模拟

使用 Ansoft 公司推出的三维电磁仿真软件 HFSS 对定向耦合器进行了模拟, HFSS 的理论基础是有限元法, 是一种积分的方法^[2].

3dB 定向耦合器主结构如图2所示, 原3dB 定向耦合器在四个端口的波导窄边处还对称分布有4个匹配螺钉. 其中 $2a$ 为主桥体的宽度, $2L$ 为主桥体的长度, d 为中间隔板厚度, hc 为调谐柱的高度, rc 为调谐柱的半径.

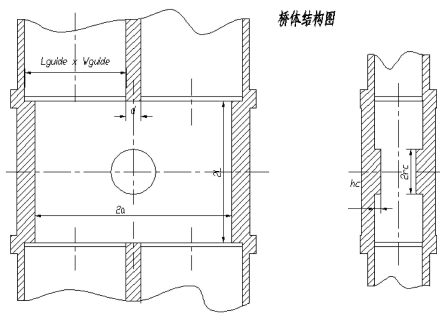


图 2 3dB 定向耦合器的主结构

3.1 优化前和优化后模拟的比较

下面分 4 种情况对 3dB 桥的设计数据进行了比较: 优化前有销钉和无销钉的情况, 优化后有销钉和无销钉情况. 图 3 和图 4 分别给出了 4 种情况下的反射系数、耦合度、方向性、隔离度随频率的变化曲线.

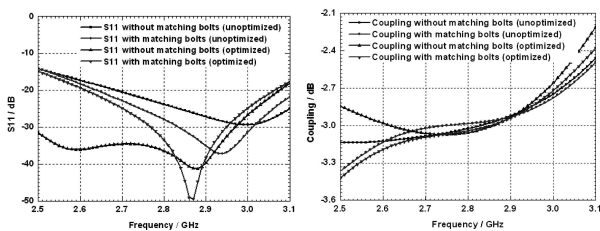


图 3 反射系数、耦合度在 4 种情况下的比较

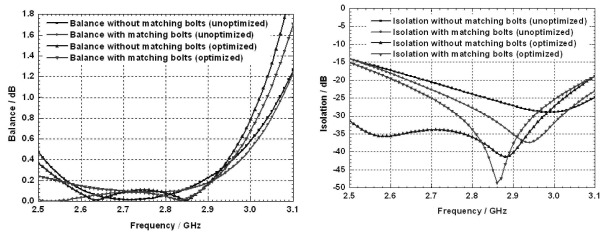


图 4 平衡度、隔离度在 4 种情况下的比较

由以上比较可以看到, 优化后结构的反射系数、隔离度都有了很大的改善, 耦合度和平衡度也保持在良好数值范围. 波导口加销钉后, 在中心频率附近反射系数和隔离度改善很大, 但在一个较宽频率范围内没有不加销钉时的性能曲线平坦.

3.2 误差分析

驻波比和平衡度对 3dB 桥来说是两个非常重要的指标, 图 5 和图 6 给出了驻波比随主要尺寸公差在 4 种

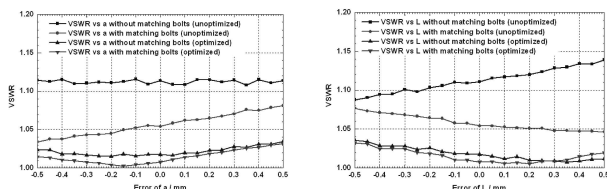


图 5 a, L 偏差对驻波比的影响

情况下的变化, 图 7 和图 8 给出了平衡度随主要尺寸公差在 4 种情况下的变化. 可以看, 优化后公差曲线变得更加平坦, 说明对公差的要求降低.

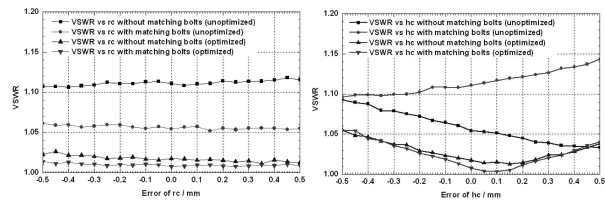


图 6 rc, hc 偏差对驻波比的影响

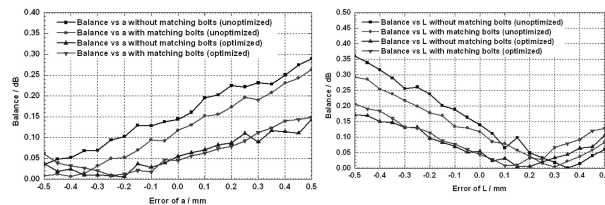


图 7 a, L 偏差对平衡度的影响

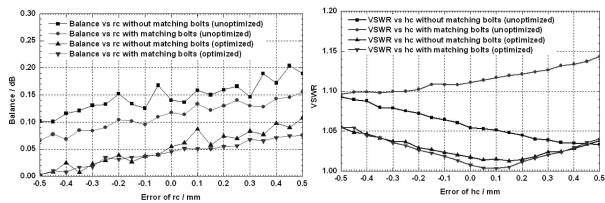


图 8 hc, rc 偏差对平衡度的影响

4 定向耦合器在移相器中的应用

3dB 定向耦合器广泛应用于移相器、衰减器等微波元器件中, 下面给出了应用于移相器的一个具体实例. 在标准波导四周有匹配柱和无匹配柱的情况下, 结构都可以达到优化. 但在优化过程中, 四周无匹配销钉优化后中心匹配柱的直径和高度都减小了, 这样结构可以承受的功率极限也会有所提高. 所以, 在新加工的移相器中, 采用了无匹配柱的设计, 这样就可以在不影响性能指标的情况下, 达到简化加工工艺, 提高功率承受能力的目的.

图 9(左) 给出了 4 种情况下输入端的驻波比, 可以看到优化后的驻波比比优化前有了很大的改善. 图 9(右) 给出了优化前后移相器随活塞移动长度变化时相移的变化, 优化后移相器的相移特性基本不变.

原有移相器设计在全量程移相 360° 的情况下, 只能保证驻波比小于 1.2, 按照新设计尺寸加工完成的移相器实验件, 在移相 360° 范围内, 驻波比达到了 1.1 以下, 目前, 这在移相器的加工制作中是一个新的突破.

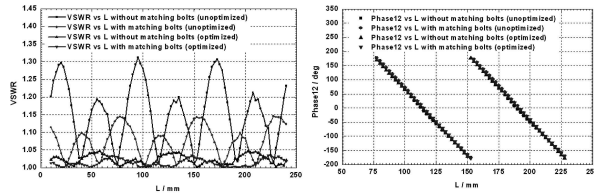


图 9 4种情况下移相器输入端的驻波比和移相器的移相性能

5 结论

优化后的3dB定向耦合器不仅具有较好的RF性能,而且加工时的机械加工公差也比优化前宽松.使用优化后得到的3dB定向耦合器尺寸制作移相器,可以在保持移相器相位特性基本不变的情况下,大大降低其输入端的驻波比.实验件的测试结果表明用HFSS设计加工的移相器是成功的.

参考文献(References)

1 LI Zong-Qian, SHE Jing-Zhao et al. Foundations for Microwave Engineering. Beijing: Tsinghua University Press,

2004.1 (in Chinese)

(李宗谦, 余京兆等. 微波工程基础. 北京: 清华大学出版社, 2004.1)

2 HFSS user's Guide. ANSOFT CORPORATION

Optimization Design and Application of S-Band 3dB Directional Coupler

ZHANG Jing-Ru^{1,2;1)} ZHAO Feng-Li¹ PEI Shi-Lun¹

1 (Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

2 (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The application of the 3dB directional coupler is very extensive, such as the phase shifter, the attenuator and the RF pulse compressor etc. The performance of the 3dB directional coupler is very important for these components. Optimization design has been done using the HFSS code. The new phase shifter prototype using the new optimization results has been tested. The tested results are in agreement with the measured ones.

Key words 3dB directional coupler, phase shifter, VSWR, balance, isolator