

一种超宽带宽边耦合微带定向耦合器

杨自强¹, 郭 峥², 陈 涛¹, 杨 涛¹, 刘 宇¹

(1. 电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 611731; 2. 西南电子设备研究所, 四川 成都 610036)

摘 要:提出了一种新颖的超宽带宽边耦合微带定向耦合器, 相比窄边耦合结构, 宽边耦合增加了耦合面积, 可实现宽频的 3 dB 紧耦合。同时, 为进一步拓展耦合器工作带宽, 该文采用渐变耦合结构替代传统的矩形耦合结构。通过 HFSS 仿真验证, 此定向耦合器在 2~6 GHz 频带内插入损耗小于 0.9 dB, 输入端口回波损耗大于 20 dB, 端口隔离度大于 21 dB。

关键词:超宽带; 微带线; 宽边耦合; 渐变

中图分类号: TN73 **文献标识码:** A

Design of a UWB Microstrip Directional Coupler Based on Broadside Coupling Theory

YANG Ziqiang¹, GUO Zheng², CHEN Tao¹, YANG Tao¹, LIU Yu¹

(1. School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

2. Southwest Institute of Electronic Equipment of China (SWIEE), Chengdu, 610036, China)

Abstract: This paper describes a novel ultra-wideband microstrip directional coupler, which adopts a broadside coupling theory. Compared with the narrow coupling structure, broadside coupling structure can increase coupling area and realize 3 dB tight coupling in a wide frequency range. In order to further expand the operating bandwidth of the coupler, this paper uses tapered coupling structure instead of the traditional rectangular coupling structure. The HFSS simulation results show that the insertion loss of the directional coupler is less than 0.9 dB, the return loss at the input port is more than 20 dB and the isolation at port is more than 20 dB across 2 GHz to 6 GHz.

Key words: ultra-wideband; microstrip; broadside coupling; tapered structure

0 引言

定向耦合器是一种非常重要的基本微波元件, 在实际工程中应用广泛^[1-2]。近年来, 随着超宽带微波系统的不断涌现和发展, 对超宽带定向耦合器的需求也越来越大。

在平面电路中, 定向耦合器常采用平行耦合线结构, 但其不易实现强耦合, 工作带宽有限。Lange 耦合器能实现强耦合, 但在结构上需跨接微带线, 这对加工工艺要求较高。宽边耦合微带定向耦合器^[1]具有结构紧凑, 易加工, 工作带宽宽等优点, 在超宽带领域越来越受到重视。

定向耦合器通常采用多节结构来增加工作带宽, 但多节耦合器体积过大, 不适合在要求小体积的场合应用。因此, 本文研究了另一种拓展带宽的方

法, 在多层耦合器中, 采用渐变结构替代传统的矩形结构。常见的渐变结构有指数渐变, 三角形渐变和 Kropienstein 渐变, 其中 Kropienstein 渐变在实现相同匹配效果的情况下结构最紧凑^[3-4], 因此, 本文选择用 Kropienstein 渐变结构替代传统的矩形结构。Kropienstein 渐变结构是一种曲线结构, 在实际工程应用中, 曲线的加工精度低, 因此, 本文对 Kropienstein 渐变结构进行了直线近似。

1 理论分析

图 1 为矩形宽边耦合微带定向耦合器, 由两层带有耦合缝隙的介质板背对背组合而成, 耦合由平行在微带线基板上的双面敷金属的耦合片实现, 中间是公共地平面。 w_1 为耦合区域微带线宽度, w_2 为公共地掏孔的宽度, L 为耦合微带长度。

收稿日期: 2012-07-12

基金项目: 中央高校基本科研业务费基金资助项目 (ZYGX2010J026), 自然科学基金青年科学基金资助项目 (61006026)

作者简介: 杨自强 (1981-), 男, 四川人, 副研究员, 博士, 主要从事微波/毫米波集成电路与系统的研究。

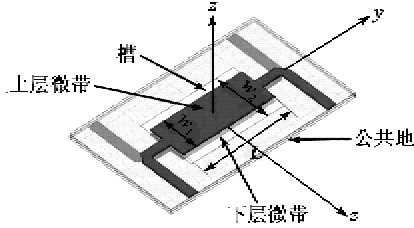


图 1 矩形宽边耦合微带定向耦合器结构

矩形宽边耦合定向耦合器设计的基本思路是通过耦合强度和中心频率来确定 w_1, w_2 和 L 的值。

此耦合器可采用奇偶模分析法进行分析,假设公共地平面无限大,且地平面和微带线的金属厚度可忽略,同时不考虑金属和电介质的损耗。由奇偶模的电场分析得知,在奇模情况下,地平面可看作是电壁,在偶模情况下,地平面可看作是磁壁,因此以地平面为界限,将耦合器一分为二,只讨论地平面的上部分或下部分以简化分析。通过分析可得耦合器奇偶模阻抗 Z_{oe}, Z_{oo} 与耦合系数 k_o 间的关系^[5]为

$$Z_{oe} = Z_o \sqrt{\frac{1+k_o}{1-k_o}} \quad (1)$$

$$Z_{oo} = Z_o \sqrt{\frac{1-k_o}{1+k_o}} \quad (2)$$

式中 Z_o 为传输线特性阻抗。

另一方面,由文献[6]可知,矩形宽边耦合定向耦合器的奇偶模阻抗为

$$Z_{oe} = \frac{60\pi K(k_1)}{\sqrt{\epsilon_r} K'(k_1)} \quad (3)$$

$$Z_{oo} = \frac{60\pi K(k_2)}{\sqrt{\epsilon_r} K'(k_2)} \quad (4)$$

式中: ϵ_r 为微带线的介电常数; $K(k)$ 是第一类椭圆积分函数,并且 $K'(k) = K \sqrt{1-k^2}$,而 k_1 和 k_2 分别为

$$k_1 = \sqrt{\frac{\sinh^2(\pi w_2/(4h))}{\sinh^2[\pi w_2/(4h)] + \cosh^2[\pi w_1/(4h)]}} \quad (5)$$

$$k_2 = \tanh(\pi w_1/(4h)) \quad (6)$$

式中: h 为微带线介质厚度; $2h$ 为两耦合微带线间的距离。

在以上分析的基础上,我们就可计算 w_1 和 w_2 的值,首先利用式(1)、(2)计算 3 dB 定向耦合器对应的奇偶模阻抗,再将该阻抗值代入式(3)、(4)即可计算出 w_1 和 w_2 的值。

L 的选取与耦合器工作频率有关,选择 $L = \lambda_c/$

4,其中 λ_c 为耦合器中心频率对应的微带线波长。

以上就完成了矩形宽边耦合微带定向耦合器的设计,为进一步拓展定向耦合器的工作带宽,本文采用 Kropienstein 渐变结构替代传统的矩形结构,其设计可在矩形宽边耦合微带定向耦合器的基础上进行,只需保证两种耦合器耦合区域长度和面积相等即可^[6]。

2 仿真设计

图 2 为本文提出的 Kropienstein 宽边耦合微带定向耦合器结构。该结构由两层带有耦合缝隙的介质板背对背组合而成,上层和下层微带线通过耦合缝形成强耦合,端口 1、2 在上层微带线上,端口 3、4 在下层微带线上。当微波信号由端口 1 输入时,端口 2 为直通端口,端口 3 为耦合端口,端口 4 为隔离端口。Kropienstein 过渡是曲线结构,考虑实际工程应用,采用几段折线来对 Kropienstein 过渡结构进行近似,整个耦合区域为 8 段折线组成的对称结构,槽的边缘变化趋势和微带线宽度变化趋势一致。由前面的理论分析可知, L 的取值为 $\lambda_c/4$,微带线宽度 w_1, w_2, w_3, w_4 和槽宽度 $w_{s1}, w_{s2}, w_{s3}, w_{s4}$ 的初值选取应保证图 2 所示结构耦合区域面积与矩形宽边耦合微带定向耦合器耦合区域面积相等。

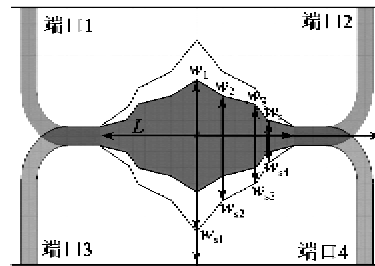


图 2 Kropienstein 宽边耦合微带定向耦合器结构

本文引入了三维电磁场仿真软件对电路进行优化设计,为了简化整个仿真优化设计的过程,本设计不改变每一段渐变微带线的长度,只改变微带线宽度 w_1, w_2, w_3, w_4 和对应的槽宽度 $w_{s1}, w_{s2}, w_{s3}, w_{s4}$ 。通过依次改变微带线和槽的宽度,我们发现在整个频带内,微带线和槽的宽度主要影响耦合器高频段的耦合强度和输入端口反射系数,且 w_1 和 w_{s1} 影响最大。通过优化设计,我们最终确定 $w_1 = 3.5 \text{ mm}, w_2 = 2.5 \text{ mm}, w_3 = 2 \text{ mm}, w_4 = 1 \text{ mm}, w_{s1} = 6.1 \text{ mm}, w_{s2} = 4 \text{ mm}, w_{s3} = 2.9 \text{ mm}, w_{s4} = 1.7 \text{ mm}$ 。

3 设计结果

本设计采用 Rogers4003c 作为耦合器的介质基板,其介质材料介电常数为 3.38,损耗角正切为 0.0023,厚为 0.508 mm,金属层厚 0.05 mm。

图 3、4 为耦合器仿真结果。由图 3 可看出,本超宽带耦合器在 2~6 GHz 的频带范围内实现了 3 dB 耦合,插入损耗小于 0.9 dB,输入端口回波损耗大于 20 dB,端口隔离度大于 21 dB。图 4 为耦合器直通端和耦合端相位特性,在整个工作频带内相位差为 $90^\circ \pm 1^\circ$ 。

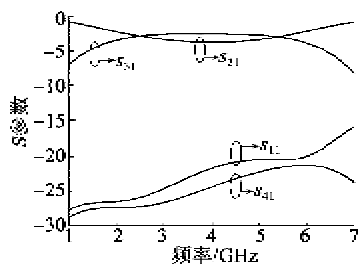


图 3 超宽带耦合器的 S 参数仿真结果

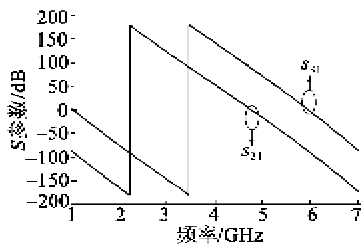


图 4 超宽带耦合器的直通端和耦合端相位特性

4 结束语

本文设计了一种结构新颖的 3 dB 超宽带微带

定向耦合器。通过双层设计,实现了微带线的宽边耦合,解决了窄边耦合难以实现强耦合的问题,并且通过引入 Kropienstein 渐变结构,进一步拓展了定向耦合器的工作带宽。最后通过软件仿真,验证了所提出耦合器结构的可行性。

参考文献:

- [1] 冉涛,傅光,范一鹏.一种新型双层微带定向耦合器[J].电子科技,2011,24(1):118-120.
RAN Tao, FU Guang, FAN Yipeng. A novel dual-layer microstrip directional coupler [J]. Electronic Sci & Tech, 2011, 24(1):118-120.
- [2] 胡勋明.宽带带状线定向耦合器的设计[D].成都:电子科技大学,2008.
- [3] 王颖,王晓磊,代作海,等.掺 Fe³⁺ TiO₂ 薄膜型氧气传感器研究[J].重庆邮电大学学报:自然科学版,2011,23(4):443-446.
WANG Wei, WANG Xiaolei, DAI Zuohai, et al. A ferric-doped titanium oxide thin film oxygen sensor [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications, Natural Science Edition, 2011, 23(4):443-446.
- [4] POZAR D M. Microwave engineering [M]. Third edition. 张肇仪,周乐柱,吴德明,等译.北京:电子工业出版社,2006.
- [5] 徐锐敏.微波技术基础[M].北京:科学出版社,2009.
- [6] ABBOSH A, BIALKOWSKI M. Design of compact directional coupler for UWB applications [J]. IEEE Trans Microw Theory Tech, 2007, 55(2):189-194.

(上接第 745 页)

- [3] 王钦.基于 ZigBee 技术的无线传感网络研究与实现[J].重庆理工大学学报:自然科学版,2011(8):50-55.
WANG Qin. Research and implementation of wireless sensor network based on ZigBee [J]. Journal of Chongqing University of Technology, Natural Science, 2011(8):50-55.
- [4] 邵凯,张红卫,梁燕,等.无线传感器网络中的数据融合问题[J].重庆邮电大学学报:自然科学版,2006,18(1):53-59.
SHAO Kai, ZHANG Hongwei, LIANG Yan, et al. Da-

- ta fusion in wireless sensor network; a survey [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications, Natural Science Edition, 2006, 18(1): 53-59.
- [5] 杨露菁,余华.多源信息融合理论与应用[M].北京:北京邮电大学出版社,2006.
- [6] 阎平凡,张长水.人工神经网络与模拟进化计算[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [7] 苏金明,王永利. MATLAB7.0 实用指南[M].北京:电子工业出版社,2004.