

基于微波通信的新型小型化定向耦合器的设计

纪生宝, 晁勤, 张绍洲

(新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830008)

摘要: 微机保护在电力系统中迅速发展, 微波作为通信通道的通信方式也广泛应用, 微带 3dB 分支线定向耦合器是微机保护微波通信设备的一个重要元器件, 文章通过理论计算设计出新型梯形微带线小型化的定向耦合器, 并在 ADS 仿真软件上进行仿真, 分析仿真结果说明此方法的可行性。这种耦合器的低成本、高效、小型化等特点将在微机保护微波通信以及电力系统综合自动化领域微波通信方面发挥其巨大的潜能。

关键词: 微波通信; 微带耦合器; 小型化

A novel design of miniaturized branch-line coupler based on microwave communication

Ji Sheng-bao, Chao Qin, Zhang Shao-zhou

(College of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumchi 830008, China)

Abstract: Microprocessor-based protection is developing promptly in power system, microwave is applied widely as a communication mode of communication channels, the 3dB microstrip branch-line coupler is important component of microwave communication equipment in microprocessor-based protection. In this article, the novel compact microstrip-coupler of trapezoid microstrip has been designed through theoretic calculation, finally, simulating the microstrip-coupler by software ADS, and accounting for feasibility of this method, the traits of this microstrip-coupler, such as the low cost, high-efficiency and miniaturization and so on, will exert enormous potential in the field of microprocessor-based protection microwave communication and comprehensive automatization in power system microwave communication.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Xinjiang (No.200421127).

Key words: microwave communication; microstrip-coupler; miniaturization

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)03-0073-03

0 引言

继电保护装置在电力系统中担负着保证电力系统安全可靠运行的重要任务, 而微机继电保护装置是一种高性能的计算机测控系统, 具有更高的可靠性和灵敏度, 是电力系统中的主流保护。微机保护中的通信通道主要有电力载波、光缆和微波, 这在微机保护的可靠性方面起着至关重要的作用。在高山峻岭或人烟稀少的地区专门架设光缆通信通道, 不仅施工困难, 而且专门架设光缆成本较高, 用微波作为通信通道就不用架设光缆, 另外, 电力系统综合自动化系统因为地理环境技术条件等各种因素也会考虑微波通信技术, 但微波作为通信通道, 其设备成本昂贵。为了解决这一问题, 就要不断采

用许多新技术、新工艺, 提高了装置的可靠性和抗干扰能力, 把设备小型化, 降低成本。微波通信中, 定向耦合器用来监视功率、频率和频谱; 把功率进行分配和合成; 构成天线的收发开关、平衡混频器和测量电桥。特别是 3dB 定向耦合器更是一个不可或缺的重要元件, 这一器件的需求量也越来越大。但是, 传统的微带分支线定向耦合器占电路面积太多, 在迅速发展的微波集成电路 (MIC) 和单片微波集成电路 (MMIC) 中, 微带元器件的小型化扮演着不可或缺的角色。降低成本, 提高集成度使微带元器件的小型化理论成为发展的趋势。对微波通信设备小型化, 在保证高性能、高可靠性的前提下, 不仅使得微波通信的体积减小, 现场占地少, 同时可以降低成本, 提高电网的经济效益。

本文主要是将均匀终端开路短截线小型化的微带 3dB 分支线定向耦合器^[4]用非均匀梯形微带线进一步小型化, 解决微带线的重叠问题。对于非均匀梯形微带线用均匀微带线级联的模型来讨论参数特

基金项目: 科技部社会公益研究类项目 (2004DIB3J126), 新疆教育厅重点项目 (XJEDU2005I01), 新疆自然科学基金项目 (200421127)

性。设计得到小型化的 3dB 定向耦合器参数满足要求, 仿真 S 参数特性表明方法可行。

1 梯形微带线

对于传统的微带分支线定向耦合器都是用均匀微带线来进行小型化。为了能进一步小型化微带分支线定向耦合器, 可以采用梯形微带线如图 1 所示。

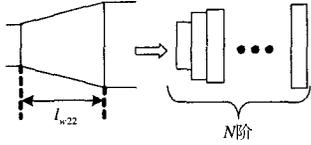


图 1 非均匀微带线的级联模型

Fig.1 The cascade model of non-uniform microstrip

单根非均匀微带线可以用 N 阶均匀微带单元的级联模型代替, 相应单元的特性阻抗近似看作直线型渐变函数为 $Z(x_i)(i=1,2,3 \dots N)$, 每一单元微带线的电长度 $\Delta l = l/N$, 相对应的电角度 $\theta_i = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l$ 。则每一单元微带线的 ABCD 矩阵 $[A \ B \ C \ D]_i =$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_i & jZ(x_i) \sin \theta_i \\ j\frac{1}{Z(x_i)} \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

整个梯形微带线的 ABCD 矩阵

$$[A \ B \ C \ D] = \prod_{i=1}^N [A \ B \ C \ D]_i \quad (2)$$

计算出级联模型的 ABCD 矩阵, 从而得到非均匀微带线的 A 参数特性。利用上述方法, 当 N 取到合适值时得到非均匀微带线的 A 参数特性与均匀微带线 A 参数等效。

2 应用梯形微带线对定向耦合器小型化

2.1 短截线小型化 3 dB 分支线定向耦合器

应用短截线对传统的微带 3 dB 分支线定向耦合器进行小型化。主要通过微带 3 dB 分支线定向耦合器的主线和副线上各加一条终端开路的短截线^[3]。基本方法是利用主线和副线的 A 参数与添加均匀终端开路的短截线 A 参数等效, 从而确定各条微带线的特性阻抗和电长度。

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{\frac{1}{4}\lambda} = \begin{bmatrix} 0 & jZ_0 \\ j\frac{1}{Z_0} & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{T\text{-Shape}} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & jZ_1 \sin \theta_1 \\ j\frac{1}{Z_1} \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\frac{1}{Z_2} \tan \theta_2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \cos \theta_3 & jZ_3 \sin \theta_3 \\ j\frac{1}{Z_3} \sin \theta_3 & \cos \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

$$\tan \theta_1 \tan \theta_3 = \frac{N}{M^2} \quad (5)$$

$$\tan \theta_2 = \frac{M^2 - N^2}{KN} \tan \theta_3 \quad (6)$$

其中令:

$$K = \frac{Z_1}{Z_2} \quad M = \frac{Z_1}{Z_0} \quad N = \frac{Z_1}{Z_3} \quad (7)$$

对于 $Z_0 = 35.35 \ \Omega$ 的 $\frac{1}{4} \lambda$ 微带线设计: $M=2.2$, $K=3.3$ 得出 $Z_1 = Z_3 = 77.2 \ \Omega$, $\theta_1 = \theta_3 = 24.38^\circ$, $Z_2 = 23.21 \ \Omega$, $\theta_2 = 27.77^\circ$ 。

对于 $Z_0 = 50 \ \Omega$ 的 $\frac{1}{4} \lambda$ 微带线设计: $M=2$, $K=4.3$ 得出 $Z_1 = Z_3 = 100 \ \Omega$, $\theta_1 = \theta_3 = 26.59^\circ$, $Z_2 = 23.21 \ \Omega$, $\theta_2 = 19.17^\circ$ 。

按照这个设计参数设计小型化的微带 3 dB 分支线定向耦合器从理论上讲合适, 但在实际制作电路时, 添加的均匀终端开路短截线相互重叠在一起, 这样影响定向耦合器的特性。为了避免均匀终端开路短截线相互重叠, 将均匀终端开路的短截线用非均匀特性阻抗的梯形微带线代替。如图 2 所示。达到不影响定向耦合器特性的同时将微带分支线定向耦合器小型化的目的。

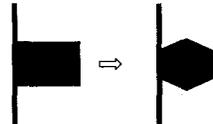
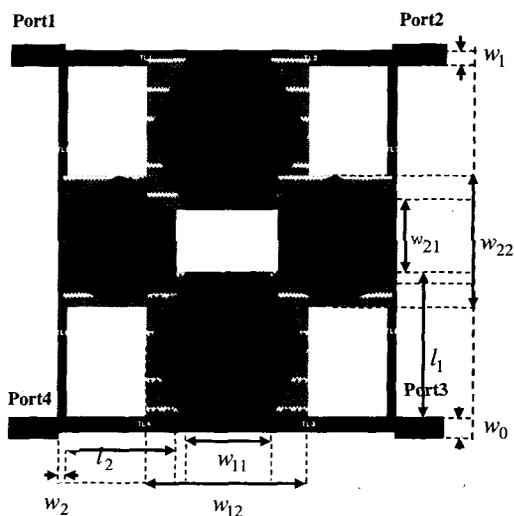


图 2 非均匀梯形微带线代替均匀终端开路短截线模型
Fig.2 The model of non-uniform trapezoid microstrip instead of uniform stub microstrip

2.2 梯形微带线小型化 3 dB 分支线定向耦合器和 ADS 仿真

利用均匀终端开路短截线的 A 参数与两段非均匀梯形微带线级联的 A 参数对比相等, 经过理论分析与计算对 $Z_0 = 35.35 \ \Omega$ 的 $\frac{1}{4} \lambda$ 微带线的均匀终端开路线 $Z_2 = 23.21 \ \Omega$, $\theta_2 = 27.77^\circ$ 和 $Z_0 = 50 \ \Omega$ 的

$\frac{1}{4}\lambda$ 微带线均匀终端开路线 $Z_2 = 23.21 \Omega$, $\theta_2 = 19.17^\circ$ 分别用两段非均匀梯形微带线级联等效, 计算出非均匀梯形微带线的参数, 设计出小型化的微带 3 dB 分支线定向耦合器, 电路板图如图 3 所示。



($w_0 = 1.4563 \text{ mm}$, $w_1 = 0.6891 \text{ mm}$, $w_2 = 0.3935 \text{ mm}$, $w_{11} = 3.5943 \text{ mm}$, $w_{12} = 6.9716 \text{ mm}$, $w_{21} = 3.5943 \text{ mm}$, $w_{22} = 5.6320 \text{ mm}$, $l_1 = 6.52 \text{ mm}$, $l_2 = 4.9 \text{ mm}$)

图 3 耦合器小型化后的电路板图

Fig.3 The circuit plan of miniaturized coupler

由 ADS 软件仿真得到 S 参数特性曲线如图 4, 小型化后的梯形微带 3 dB 分支线定向耦合器在中心频率 2.0 GHz 处达到 3 dB 满足应用的要求。在高于 2.5 GHz 处 S 参数特性曲线发生畸变, 需要进一步优化微带电路的结构, 优化其参数, 达到满意的效果。

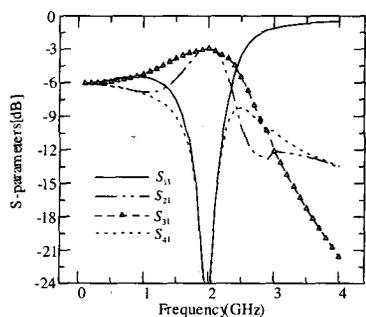


图 4 定向耦合器的仿真 S 参数特性曲线

Fig.4 The magnitudes of S-parameters of simulation for the coupler

3 结束语

本文用非均匀梯形微带线对微带 3dB 定向耦合器进行小型化, 设计出的电路占原来电路板面积的 60%, 对设计出的小型化 3 dB 定向耦合器用 ADS 进行仿真得到的 S 参数曲线符合耦合器的参数特性。这将使得用微波作为电力系统综合自动化通道的设备小型化, 现场占地少, 同时能降低成本。能广泛应用于用微波作为通信通道的微机保护设备中, 开拓出其潜力市场。

参考文献

- [1] 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 1976.257-345.
- [2] 王梅义. 电网继电保护应用. 中国电力出版社,1999.
- [3] DU Jian-hong. The Fast-speed Calculating Method of Integrated Microstrip Tapered Transmission Lines and the Property Analysis [J]. 微波学报, 1994,38:33-37.
- [4] Liao Shry-Sann, Sun Pou-Tou, Chin Nien-Chung, et al. A Novel Compact-size Branch-line Coupler[J].IEEE Trans on Microw. Theory Tech, 2005,15(9):588-590.
- [5] Liao Shry-Sann, Peng Jen-Tee. Compact Planar Microstrip Branch-line Couplers Using the Quasi-lumped Elements Approach with Nonsymmetrical and Symmetrical T-shaped Structure[J].IEEE Trans on Microw. Theory Tech,2006,54(19):3508-3513.
- [6] 张明君. 电力系统微机保护[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [7] Chiang Y C, Chen C Y. Design of a Wideband Lumped-element 3-dB Quadrature Coupler[J]. IEEE Trans. On Microw Theory Tech, 2001,49(3):476-479.

收稿日期: 2008-03-26; 修回日期: 2008-04-11

作者简介:

纪生宝 (1982-), 男, 研究生, 研究方向为微带无源电路; E-mail:jishengbao1209@163.com

晁勤 (1959-), 女, 博士研究生导师, 教授, 研究方向为电力系统继电保护技术研究;

张绍洲 (1965-), 男, 研究生导师, 副教授, 研究方向为电力系统中的微波通信研究。