

基于简单复合左右手结构的宽带 90° 移相器

安建¹, 曾会勇², 韦道知²

(1. 93704部队, 北京, 065000; 2. 空军工程大学防空反导学院, 陕西西安, 710051)

摘要 利用简单复合左右手结构的非线性相位特性, 提出了一种平面、低插入损耗的宽带 90° 差分移相器的设计方法。该设计方法的原理主要是通过调节简单复合左右手结构的参数和进行相位比较的传统微带线长度, 使二者的相位曲线最大程度具有相同的斜率, 并且满足 90° 的相位差。移相器的幅度和相位测试结果表明: 在2.9~8.4 GHz的频率范围内, 反射系数小于-10 dB, 插入损耗小于0.7 dB, 相位不平衡度小于 $\pm 5^\circ$, 相对带宽达到了97.3%, 而满足相同指标的传统微带差分移相器, 其相对带宽仅有11%。该结构设计简单, 便于加工。

关键词 宽带平面移相器; 90° 差分移相器; 简单复合左右手结构; 非线性相位特性

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.04.006

中图分类号 TN81 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)04-0024-03

Broadband 90° Phase Shifter Based on Simplified Composite Right/Left-handed Structure

AN Jian¹, ZENG Hui-yong², WEI Dao-zhi²

(1. Unit 93704, Beijing 065000, China; 2. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: A method to design planar and low insertion loss phase shifter with broadband characteristic of 90° difference is presented by utilizing the nonlinear phase characteristic of the simplified composite right-/left-handed transmission line. The measured results show that the proposed phase shifter achieves 2.9~8.4 GHz (97.3%) bandwidth with return loss ≤ -10 dB, insertion loss ≤ 0.7 dB and phase instability $\leq \pm 5^\circ$. Whereas, the relative bandwidth of the conventional difference phase shifter is only 11% when it simultaneously satisfying the above indexes. The proposed structure is simple in design and is easy to be fabricated.

Key words: broadband planar phase shifter; 90° difference phase shifter; simplified composite right-/left-handed structure; nonlinear phase characteristic

移相器是一类重要的微波器件, 它在相控阵天线系统、波束形成网络和相位调制器等无线通信系统中具有广泛的应用。传统的差分移相器是依靠2条传输线的长度差来实现相移, 或者在相同长度的

情况下通过改变传输线的传播常数来实现相移, 而这2种方法实现的相移都是比较窄的。

在实际应用中, 采用最多的是平面、宽带以及低插入损耗的移相器。针对传统差分移相器相移带宽

收稿日期: 2012-11-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60971118); 空军工程大学研究生学位论文创新基金资助项目(DY2012002)

基金项目: 安建(1980-), 男, 河南商丘人, 工程师, 博士, 主要从事天线、电磁兼容与电波传播, 左手传输线等研究。
E-mail: ajz982137@126.com

较窄的问题,研究人员提出了不同的方法来设计宽带移相器。主要有以下 3 种:① Schiffman 移相器及其改进结构, Schiffman 移相器的相位不平衡度达到了 $\pm 10^\circ$ ^[1];文献[2~3]采用一种补偿技术对 Schiffman 移相器进行了改进,而补偿技术只是提高了阻抗带宽,对移相器的相位特性并没有改善;文献[4]对 Schiffman 移相器在耦合线的下方附加隔离方形金属带用作一个电容,但由于耦合线的窄缝,限制了其在高频段的应用;② 多层宽边缝隙耦合结构,文献[5]采用宽带椭圆形缝隙耦合设计了宽带移相器,相位不平衡度在 $\pm 3^\circ$ 以内,获得了良好的宽带特性,但其设计过程和结构较复杂;③ 平行开短路枝节加载结构,文献[6]采用平行双枝节网络分别设计了宽带的 45° 、 90° 、 180° 移相器,其带宽较窄,只有 50% 左右;文献[7]提出了一种哑铃型宽带 45° 移相器,通过采用多枝节开路和短路,移相器在 2~6 GHz 的频带内,相位不平衡度为 $\pm 3.2^\circ$,最大插入损耗数值为 2.1 dB,插损过大限制了其实际应用。

以上宽带移相器的设计方法,都在一定程度上展现了移相带宽,但大多并未完全满足实际应用移相器的平面、宽带以及低插入损耗的要求。近年来,复合左右手传输线^[8]已成为微波领域的研究热点,因其具有非线性的相位特点,被用来替代具有线性相位特性的传统传输线,获得了良好的应用效果。而将复合左右手传输线等效电路中的串联电容或并联电感去掉,则简化了复合左右手传输线的结构,称为简单复合左右手结构,虽然简单复合左右手结构不能形成左手通带,但是其相位曲线也是非线性的。本文利用简单复合左右手结构的非线性特性设计了宽带的 90° 移相器,该移相器具有宽带及低插入损耗的优点。

1 简单复合左右手结构

文献[9]提出了一种简单复合左右手传输线结构,并利用该结构设计了超宽带带通滤波器。该结构去除了传统复合左右手传输线等效电路模型中的串联电容,仅保留并联电感,其结构模型见图 1(a),图中黑色部分为金属,最上端的白色圆孔是直径为 D 的金属化过孔; L_1 为 2 金属板的内距离; L_2 为 2 金属板的外距离。等效电路模型见图 1(b),图中缺少了构成复合左右手传输线的串联电容,并联电感 L_L 则是对接地过孔的等效。

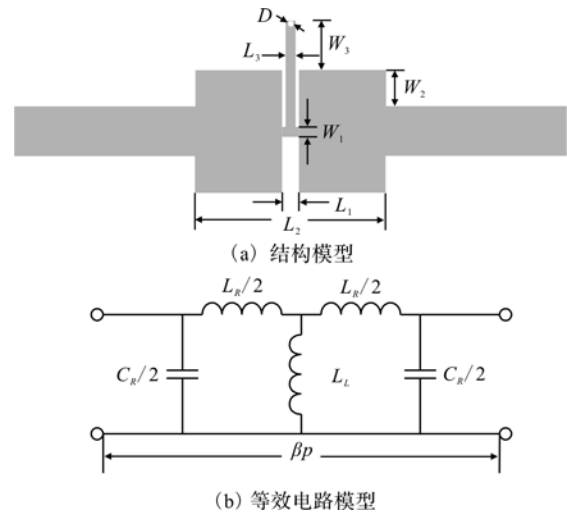


图 1 简单复合左右手结构

Fig. 1 Simplified composite right-/left-handed structure

2 基于简单复合左右手结构的宽带移相器

本文将 2 个简单复合左右手结构级联设计宽带 90° 移相器,采用介电常数为 2.65,厚度为 0.8 mm 的聚四氟乙烯介质板,实物照片见图 2。在图 2 中,上面即为 2 个简单复合左右手结构级联而成的传输线,下面则为用来进行相位比较的普通微带线。简单复合左右手结构 2 端为宽度 2.2 mm 的 50Ω 微带线,2 端微带线长度为 10 mm,2 单元之间的微带线长度 6 mm;简单复合左右手结构单元尺寸 $L_1 = 0.7$ mm, $L_2 = 8.3$ mm, $L_3 = 0.4$ mm, $W_1 = 0.4$ mm, $W_2 = 1.65$ mm, $W_3 = 2.05$ mm, $D = 0.3$ mm。作为相位比较的普通微带线的长度约为 56.7 mm。

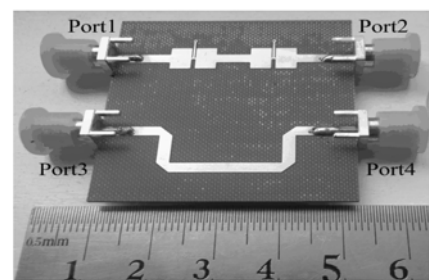


图 2 宽带 90° 移相器实物图

Fig. 2 The photograph of fabricated broadband 90° phase shifter

移相器的幅度和相位测试结果见图 3。从图 3(a)可以看出,在 2.7~8.7 GHz 的频率范围内,反射系数小于 -10 dB;在 2.8~8.6 GHz 的频率范围内,最大插入损耗为 0.7 dB,考虑到 SMA 接头的损耗,插入损耗是可以接受的。从图 3(b)可以看出,在 2.9~8.4 GHz 的频率范围内,相位不平衡度为

$\pm 5^\circ$ 。综合移相器的幅度和相位测试结果,在 2.9~8.4 GHz 的频率范围内,即相对带宽 97.3%,反射系数小于 -10 dB,插入损耗小于 0.7 dB,相位不平衡度小于 $\pm 5^\circ$ 。

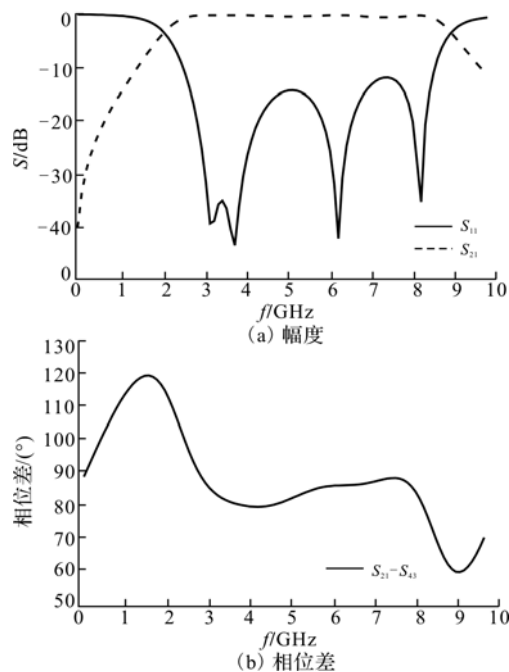


图3 宽带 90° 移相器测试结果

Fig. 3 The measured results of broadband 90° phase shifter

3 结语

本文提出了一种基于简单复合左右手传输线的平面、低插入损耗的宽带 90° 移相器。相对带宽达到了 97.3%,而满足相同指标的传统微带差分移相器,相对带宽仅有 11%左右。该移相器不需要任何地面腐蚀结构,可通过光刻技术一次成形,便于加工和实际应用。

参考文献(References):

- [1] Schiffman B. A new class of broadband microwave 90° phase shifters [J]. IRE transaction on microwave and theory, 1958, 6(4): 232-237.
- [2] Gruszczynski S, Wincza K, Sachse K. Design of compensated coupled-stripline 3 dB directional couplers phase shifters and magict's-part II: single-section coupled-line circuits [J]. IEEE transactions on microwave theory and technique, 2006, 54(9): 3501-3507.
- [3] Gruszczynski S, Wincza K, Sachse K. Design of compensated coupled-stripline 3 dB directional couplers phase shifters and magict's-part I: single-section coupled-line circuits [J]. IEEE transactions on microwave theory and technique, 2006, 54(11): 3986-3994.

- [4] Guo Y, Zhang Z, Ong L. Improved wideband schiffman phase shifter [J]. IEEE transactions on microwave theory and technique, 2006, 54(3): 1196-1200.
- [5] Amin M Abbosh. Ultra-wideband phase shifters [J]. IEEE transactions on microwave theory and technique, 2007, 55(9): 1935-1941.
- [6] Soon Young Eom, Han Kyu Park. New switched-network phase shifter with broadband characteristics [J]. Microwave and optical technology letters, 2003, 38(4): 255-257.
- [7] Zheng S Y, Yeung S H, Chan W S, et al. Improved broadband dumb-bell-shaped phase shifter using multi-section stubs [J]. Electronics letters, 2008, 44(7): 478-480.
- [8] 曾会勇, 王光明, 耿林, 等. 新型平面复合左右手传输线电磁特性研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2012, 13(3): 30-34.
ZENG Huiyong, WANG Guangming, GENG Lin, et al. Electromagnetic characteristics research on novel planar composite right/left-handed transmission line [J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2012, 13(3): 30-34. (in Chinese)
- [9] Wenjia Han, Yijun Feng. Ultra-wideband bandpass filter using simplified left-handed transmission line structure [J]. Microwave and optical technology letters, 2008, 50(11): 2758-2762.

(田新华)