

一种宽频带微带线垂直过渡结构设计

郭晓东 熊祥正

(西南交通大学物理科学与技术学院 成都 610031)

摘要: 针对微波多层电路的微带线垂直过渡问题,提出了一种新型的、适用于毫米波频段的微带线垂直过渡结构,通过微带线上的补偿结构实现了匹配设计,使得微波信号在微波多层结构中跨层传输。该过渡电路结构具有信号传输损耗小、频带宽,易于加工的特性,在微波电路设计方面具有较高的实用价值。将该微带线垂直过渡结构在三维电磁场仿真软件中进行了建模,并进行了实物加工和测试。实物测试结果表明,在 0.5~38 GHz 的频带范围内插入损耗小于 2.7 dB(含两个 K-2.92 mm 接头及微带传输线损耗),回波损耗大于 9 dB。

关键词: 毫米波;微带线;匹配;宽带垂直过渡

中图分类号: TM134 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1025

Design of wideband vertical microstrip transition

Guo Xiaodong Xiong Xiangzheng

(School of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Aiming at vertical microstrip transition in multi-layer designs, a novel structure of millimeter vertical microstrip-to-microstrip is proposed in this paper. In this design, the vertical microstrip transition implements matching through compensation structure on the microstrip. Then the microwave signal can transmit in different layers. It has the advantages of low insertion loss, broadband and easy to produce. All this indicates the structure has a good applicable worthiness in microwave circuit designs. The proposed structure is designed by software, then fabricated and tested. The results show that the insertion loss and return loss is respectively below 2.7 dB (include the insertion loss of two K-2.92 mm joints and microstrip transmission line) and above 9 dB from 0.5 GHz to 38 GHz.

Keywords: millimeter wave; microstrip; match; wideband vertical transition

0 引言

现代无线通信系统和雷达系统中,毫米波技术得到了越来越广泛的应用,各种高性能毫米波集成电路的使用也日趋增长。微带线作为现有毫米波集成电路中十分重要的传输线形式,具有加工方便、易集成等优点而被大量应用^[1-2]。随着对电路小型化要求越来越高,微波多层电路得到了广泛的发展和应用^[3-4],在微波多层电路中不可避免地需要微带线-微带线垂直过渡结构。

当微波信号在不同的微带线层之间传输的时候,需要有良好的垂直过渡结构来实现匹配,否则就会引起传输性能恶化。比如,引起额外的插入损耗、信号反射,激发出高阶模以及产生辐射^[5],严重的甚至能够导致整个电路系统的异常工作,损毁器件等。

微带线-微带线垂直过渡结构实现的方式主要有:基于金属通孔实现上下层微带线过渡^[6-7];基于槽耦合实现上下

层微带线过渡^[8-10];基于腔体耦合实现上下层微带线过渡^[11-12]等。其中腔体耦合型和槽耦合型都是呈现带通特性,而常规的金属通孔型虽然具有宽频带的损耗特点,但是随着频率的升高,金属通孔会产生寄生效应,过渡性能变差。本文设计了新的过渡结构,并有效地解决了高频寄生效应的问题。通过高频分析软件对几个容易影响性能的参数进行分析,并加工实物测试,得出了可供工程应用参考的设计。

1 结构及理论分析

如图 1 所示,所提出的毫米波垂直过渡结构主要由微带、绝缘子、匹配结等构成。其中为了匹配良好,绝缘子上下是不同半径大小的空气腔。绝缘子与金属腔体间的缝隙用焊膏连接在一起,绝缘子针穿过微带线上的连接孔,并用焊锡点焊连接,如图 2 所示。

绝缘子可以看做是一种同轴线,微带线中传输的模式

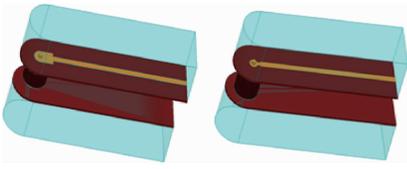


图1 毫米波垂直过渡结构

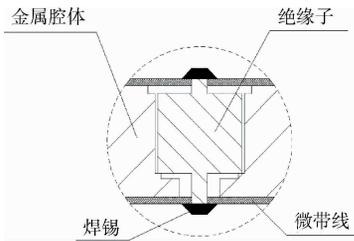


图2 毫米波结构

为准 TEM 波,同轴线传输的是 TEM 波。因此本文研究的重点就是如何实现两种传输线之间的模式转换及阻抗匹配。解决的办法是在微带线上增添补偿结构,并在绝缘子上下增设半径不同的空气腔进行匹配。

阻抗匹配是使微波电路或系统无反射、载行波或尽量接近行波状态的技术措施,是微波电路设计(如过渡结构)时必须考虑的重要问题之一。实现阻抗匹配有如下方法:集总元件 L 节匹配网络、四分之一波长变换器(负载阻抗为实数,单谐振窄带特性)、支节调配器、渐变线变换器(负载阻抗为实数,多谐振宽带特性)。

本文在微带线上与绝缘子点焊连接的金属圆盘与 50 Ω 微带线存在不连续性,考虑到频段比较高,宜选用微带阻抗跳变式的阻抗变换器,如图 3 所示。只要长度 L 和特性阻抗 Z_0 满足一点条件,就能把复数阻抗匹配到实数信号源电阻。此种匹配原理可以用下述解析公式加以证实。假定图 3 中第二段接 $Z = R + jX$,由第 1 端右视阻抗应该是信源的实数阻抗,写成如下公式:

$$R_0 = Z_0 \frac{Z + jZ_0 \tan \frac{2\pi L}{\lambda_g}}{Z_0 + jZ \tan \frac{2\pi L}{\lambda_g}} \quad (1)$$

解此式可得满足匹配时的参数 Z_0 和 L 为:

$$Z_0 = \sqrt{RR_0} \sqrt{1 - \frac{X^2}{R(R_0 - R)}} \quad (2)$$

$$L = \frac{\lambda_g}{2\pi} \arctan \left[\frac{Z_0(R_0 - R)}{R_0 X} \right] \quad (3)$$

式中,必须为正,故

$$\frac{X^2}{R(R_0 - R)} < 1 \quad (4)$$

这是单短线匹配能实现的条件^[13]。但是一段短线并不能满足匹配条件,所以在绝缘子附近加了圆盘形的匹配结构,以达到多节匹配增加带宽的目的。

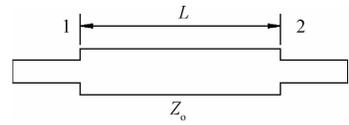


图3 跳变式阻抗变换器

本文研究的微带线垂直过渡结构就是一个双端口器件,双端口网络如图 4 所示。图中 V_1 、 V_2 分别表示端口 1 和端口 2 的电压, I_1 、 I_2 为端口 1 和端口 2 的电流。

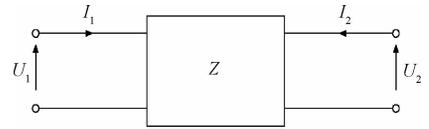


图4 双端口网络

$$U_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 \quad (5)$$

$$U_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 \quad (6)$$

用矩阵记为

$$\mathbf{U} = \mathbf{Z} \mathbf{I} \quad (7)$$

式中: \mathbf{U} 为端口参考面上的电压组成的列矩阵,简称电压列矩阵; \mathbf{I} 为各端口参考面上的电流组成的列矩阵,简称电流矩阵; \mathbf{Z} 称为二端口微波网络的阻抗矩阵^[14]。通过调节微带线上补偿结构和空气腔的尺寸参数,实现端口 1 和端口 2 的阻抗匹配。

2 仿真及实物测试

本文设计采用三维电磁仿真软件进行建模。介质基片采用 Roger 公司的 Duriod5880,介电常数为 2.22,基片厚度为 0.127 mm。微带线的特性阻抗值取 50 Ω , $w=0.37$ mm。

经过优化,设计的垂直过渡电路的主要结构尺寸如下:放置绝缘子的空气腔半径从上往下,半径值依次为 0.9 mm、0.865 mm、0.85 mm、0.39 mm。上层微带线匹配结如图 5 所示,通孔半径 $R_2=0.15$ mm,补偿结构由半径 $R_1=0.46$ mm 的半圆(以矩形边中点为圆心,与通孔圆为同心圆),与长 $W_1=0.95$ mm、宽 $W_2=0.92$ mm 的矩形(垂直于短边的中心线跟垂直于 50 Ω 传输线短边的中心线重合)组成。下层微带线匹配结由外圆半径 $R_4=0.3$ mm,内圆半径 $R_2=0.15$ mm 的圆环与长 $w_3=0.49$ mm、宽 $w_4=0.23$ mm 的矩形(垂直于短边的中心线跟垂直于 50 Ω 传输线短边的中心线重合)组成,如图 6 所示。

由于现有的加工精度有限,为了满足实际的加工要求,需要对一些参数进行调整。考虑到通用规格绝缘子的尺寸,空气腔半径尺寸从上层到下层依次为:1.4 mm、1 mm、0.85 mm、0.4 mm,微带线上匹配结不变,重新仿真后结果如图 8 所示。

仿真结果如图 7 所示,在 0.5~38 GHz, $S_{21} \geq -0.12$ dB, $S_{11} < -18.4$ dB。

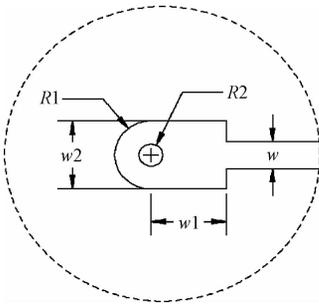


图 5 上层微带线匹配结

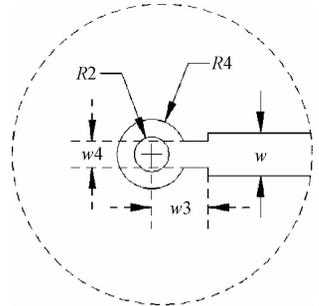


图 6 下层微带线匹配结

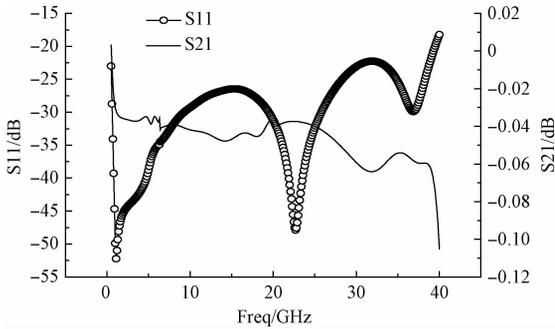


图 7 三维仿真结果

在 0.5~38 GHz 频带内,插入损耗小于 0.5 dB,回波损耗大于 12.6 dB。

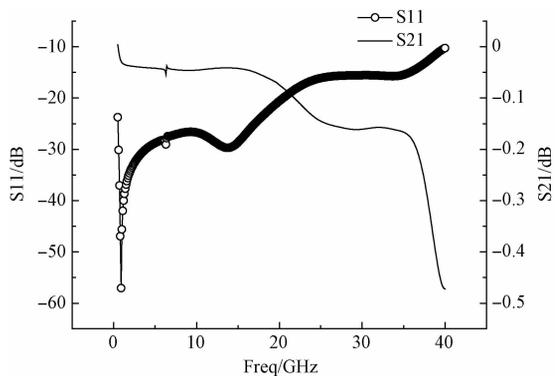
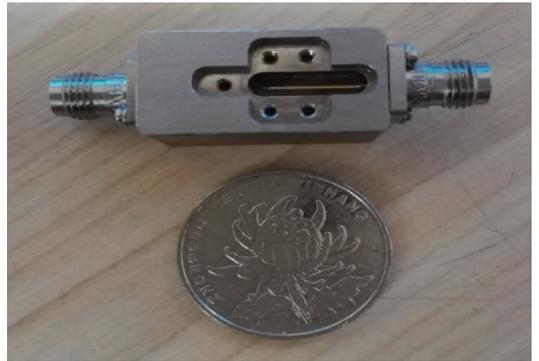
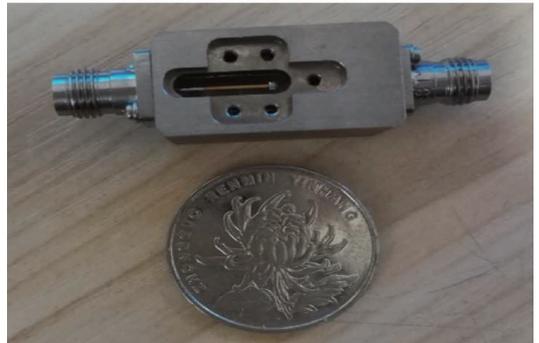


图 8 尺寸调整后三维仿真结果

为了验证上述仿真结果,制作出了实物进行测试,如图 9 所示。为了跟矢量网络分析仪连接测试,在两端的微带线焊接了两个 K-2.92 mm 接头与矢量网络分析仪相连接。



(a) 为微带线垂直过渡结构正面结构



(b) 为微带线垂直过渡结构正面结构

图 9 超宽频带微带线垂直过渡结构实物

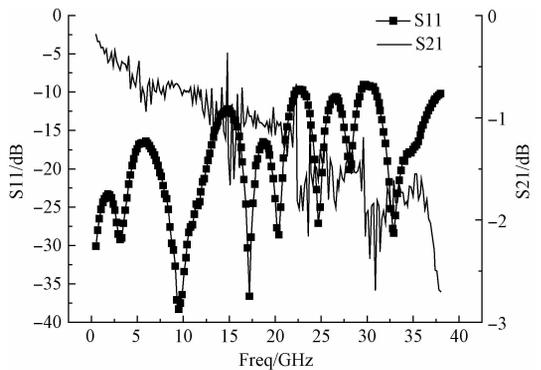


图 10 实物测试结果

如图 10 所示,在 0.5~38 GHz 频带内,插入损耗小于 2.7 dB,回波损耗大于 9 dB,最差的点出现在频率最高处 38 GHz。这是由于电磁波的色散引起的,频率越高损耗越大。实际测量出来的插入损耗不可避免的计入了两个 K-2.92 mm 接头和两段微带传输线(连接垂直过渡结构与 K-2.92 mm 接头)的插入损耗,根据工程经验这两部分的插入损耗约为 1 dB。此外,加工装配误差和测量误差^[15]也是

导致实测结果与理论模型仿真不一致的原因。

3 结 论

本文设计了一种新型的微带线垂直过渡结构,利用三维电磁仿真软件对该结构进行了仿真优化,考虑实际加工条件后,设计制作了实物进行测试。实验结果与仿真设计基本吻合,符合一般工程实际要求。该结构能在更宽的频带内实现过渡目的,具有尺寸小、易于加工、结构稳定等优点,为不同层的微带线垂直过渡结构设计提供了一种新的可行性方案。

参考文献

- [1] 兰云鹏,吴景峰,王抗旱. H面波导到微带过渡结构设计[J]. 舰船电子工程, 2013, 3(12): 155-162.
- [2] 任田昊,张勇. W波段矩形波导到微带线过渡结构设计[J]. 微波学报, 2014(S1): 116-118.
- [3] 白锐,高长征. 基于微波多层板的小型化多通道接受前端设计[J]. 电讯技术, 2014, 54(11): 1544-1548.
- [4] 李伟. 微波多层电路垂直互联过孔等效电路研究[D]. 成都:电子科技大学, 2014.
- [5] 毛剑波,黄正峰,杨明武,等. 微带线不连续性辐射研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(5): 392-397.
- [6] Anand G, Lahiri R, Sadhu R. Wide band microstrip to microstrip vertical coaxial Transition for radar & EW applications [J]. 2016 Asia-Pacific Microwave Conference, 2016; 1-4.
- [7] TSAI C, CHENG Y, HUANG T, et al. Design of microstrip-to-microstrip via transition in multilayered LTCC for frequencies up to 67 GHz [J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2011, 1(4): 595-601.
- [8] YANG L, ZHU L, CHOL W, et al. Wideband microstrip-to-microstrip vertical transition with high filtering selectivity using open-circuited slotline SIR [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2017, 27(4): 329-331.
- [9] HUANG X, WU K L. A broadband and vialess vertical microstrip-to-microstrip transition [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2012, 60(4): 938-944.
- [10] LIU G, LI L, XIAO Y, CHEN S S. Vialess vertical microstrip-to-microstrip transition using open slotline [J]. Electronics Letters, 2015, 51(23): 1895-1896.
- [11] CHENG J C, LI E S. Method of moments with an equivalent Green's function technique for modelling broadband cavity-coupled microstrip vertical transitions [J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2011, 5(15): 1863-1871.
- [12] LIN F, JIAO Y C, QI Y. A wideband microstrip to bilateral slotline transition using constant impedance bilateral slotline and heart-shaped irregular cavity [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2013, 23(5): 255-257.
- [13] 陶子文. 宽带微带线过渡结构的研究与设计[D]. 南京:南京理工大学, 2014.
- [14] 张国忠,李伟. 一种微带线到带状线宽带垂直耦合过渡结构[J]. 电子测量技术, 2016, 38(8): 19-26.
- [15] 郝邵杰,韩晓东. 矢量网络分析仪硬件性能对测量结果的分析[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(1): 28-32.

作者简介

郭晓东, 1990年出生,工学在读硕士,主要研究方向为微波电路与电磁兼容。
E-mail: xiaodong2010_g@163.com