2024 年 7 月

Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology

文章编号: 2095-4980(2024)07-0748-04

Q波段微带到带状线垂直过渡结构

邹辉耀,孙树风,张晓阳

(中国空间技术研究院西安分院, 陕西 西安 710100)

摘 要: 层间垂直过渡结构通常被用来实现组件结构的小型化和高密度设计,在毫米波电路 布线中起着不可或缺的作用。本文设计了一种可用于Q波段的微带线到带状线的垂直过渡结构, 在微带线的末端采用"水滴"匹配结构,以金属通孔连接传输线的形式进行射频信号的垂直传输。 运用三维高频电磁仿真软件(HFSS)建立该结构,并与其他类似结构进行性能仿真比对。优化结果 表明,这种结构在42~47 GHz频带范围内,反射系数小于-20 dB,带内插入损耗优于0.3 dB,可 以满足工程应用的要求。相比同类型的其他垂直过渡结构,本文结构在减小占用面积的同时保持 了良好的传输性能。

关键词: 垂直过渡; Q波段; "水滴"匹配; 带状线; 微带线 中图分类号: TN817 **文献标志码:** A **doi:** 10.11805/TKYDA2022202

Q-band coplanar waveguide to stripline vertical interconnection

ZOU Huiyao, SUN Shufeng, ZHANG Xiaoyang (China Academy of Space Technology(Xi'an), Xi'an Shaanxi 710100, China)

Abstract: The interlayer vertical transition structure is usually utilized to realize the miniaturization and high-density design of module structure, and plays an indispensable role in millimeter wave circuit wiring. In this paper, a vertical transition structure from microstrip to stripline is studied, which can be used in Q-band. A "water droplet" matching structure is adopted at the end of microstrip line, and the vertical transmission of Radio Frequency(RF) signals is carried out in the form of metal through holes connecting transmission lines. The three-dimensional High-Frequency electromagnetic Simulation Software(HFSS) is employed to establish the structure and compare the performance with that of other similar structures. The optimization results show that the reflection coefficient of this structure is less than -20 dB and the in-band insertion loss is better than 0.3 dB in 42~47 GHz, which can meet the requirements of engineering application. Compared with other vertical transition structures of the same type, it reduces the occupied area and maintains good transmission performance.

Keywords: vertical transition; Q-band; "water droplet" matching; strip line; microstrip line

随着信息技术和微电子技术的飞速进步,相控阵天线逐渐朝着多波束和宽带的方向发展。为解决多波束相 控阵天线中不同波束间的高频信号交叉传输问题^[1],通常需要采用垂直过渡结构使得信号在电路板的不同层之间 进行灵活传输,从而充分利用多层板的布线面积。

在微波多层板中,通常使用层间垂直过渡结构实现组件结构的小型化和高密度设计。当信号在不同层之间 传输时,需要性能良好的过渡结构实现良好的匹配,否则传输特性会变差,会给信号传输带来额外的插入损耗。 因此,研究不同层传输线之间的垂直过渡结构成为必要。

国内外已有许多学者对垂直过渡结构进行了深入研究,较基础的结构是通过金属通孔直接将上下层传输线相连^[2],主要用于低频段。当频率提高到10 GHz以上时,便需要在周围采用金属屏蔽孔,防止产生电磁泄 露^[3-5]。随着人们对垂直过渡性能要求的提高,提出了多种新型结构以改进该类结构的传输性能:改变传输线末端贴片形式,采用椭圆贴片形式的传输线耦合馈电^[6],或是采用圆形贴片^[7-8]、"水滴形"贴片^[9]等,抑制由于信号的不连续而产生的高次模;改变2条传输线间信号的传输形式,将垂直金属通孔连接改为电磁耦合的形式^[10], 进一步改进传输结构的带宽以及传输性能。

本文结合文献[6]和文献[9]的思路,采用金属过孔过渡的同时,通过"水滴形"贴片的形式改善传输线的阻抗匹配。最终仿真结果表明,该结构在42~47 GHz范围内回波损耗优于-20 dB,插入损耗在0.3 dB左右,可用于高频电路板的信号布线。

1 垂直过渡结构设计

在毫米波频段时,微带线和带状线电路的损耗将增加。因此,需要在微带线或带状线周围加上金属屏蔽通孔,起到 约束微波信号能量传输,降低能量损耗的作用。

本文设计的过渡结构如图1所示,采用Taconic的TSM-DS3 材料作为介质板材,其相对介电常数为2.94,损耗角正 切为0.0014。结构共有4层铜皮,从顶层到底层的4层铜皮 L1~L4分别为微带线层、公共地层、带状线层及底部地层。

各个射频层的具体结构如图2所示,上下2根传输线间通 过一根半径为Via_r的金属柱体垂直相连。可以通过改变传输 线的宽度 W₁和 W₂来调整微带线和带状线的阻抗。通过调节 第2层和第4层的耦合孔 R₁和 R₂,以及水滴形贴片的半径 R₅、 R₆来改善结构的回波损耗。







2 仿真优化

目前的垂直过渡结构根据传输线贴片形状分类,有椭圆贴片、圆形贴片、方形贴片等;根据过渡方式分类, 有金属通孔式和电磁耦合式2种。电磁耦合式传输是最近几年新提出的一种信号垂直过渡形式,它避免了金属通 孔式传输可能导致的高成本及电路复杂问题,但也正因为其耦合传输的本质,只能进行2根相距较近的传输线间 的信号垂直传输。

除了图1中建立的水滴形贴片+金属过孔结构(图3中的模型③)外,本文还建立了另外2种模型进行分析比 对,分别是椭圆贴片+电磁耦合结构(图3中的模型①)、水滴形贴片+电磁耦合结构(图3中的模型②),其中模型 ①采用文献[5]中的传输结构。图3所示的3个模型结构图中省略了各自的屏蔽通孔和介质基板。

在43~46 GHz内,对以上3种模型进行仿真优化,仿真结果如图4~图6所示。从图4~图6中可以看出,模型 ①在回波损耗性能上最为出色,在40~50 GHz频带内回波损耗小于-20 dB。模型③在传输性能上优于模型②,在 42~47 GHz的频段上回波损耗<-20 dB,相比于模型①,在带宽方面略有逊色。但从图7中可以看出,模型③所 占的面积要小于模型①,有利于电路板的高密度集成。

通过对各项参数的扫描仿真后发现,金属过孔式过渡结构最易受到信号过孔加工错位的影响。本文针对金属信号通孔的中心偏移量引起的回波损耗的变化进行了仿真,如图8~图9所示。从图9中可以看出,电路性能对 信号过孔的位置十分敏感,0.05 mm的变化也会对电路性能产生较大的影响,但影响在可接受的范围内。过渡结 构仍能在较宽的范围内保持S₁₁小于-20 dB,在后续设计中还需进一步降低电路性能对电路尺寸的敏感性,给加工装配留出足够的裕量。



Fig.7 Area comparison of models① and ③ 图7 模型①和③面积比对

3 结论

本文提出一种Q波段微带-带状线的垂直过渡结构。仿真 结果显示,该结构实现了良好的端口驻波特性和低插入损耗, 说明了设计的可行性。另该结构占用面积相对较小,有利于高 频微系统的高密度集成化。

参考文献:

- [1] 石海然,张涛,薛欣,等. Ka频段八波束接收组件的设计与实现[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2019,17(2):252-257. (SHI Hairan, ZHANG Tao, XUE Xin, et al. Design of a Ka-band 8 beams receiver module[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2019,17(2):252-257.) doi:10.00805/TKYDA2022202.
- [2] GUO Weida, CHINE Weining, WANG Chienlin, et al. Design of wideband impedance matching for through-hole via transition using ellipse-shaped anti-Pad[C]// 2006 IEEE Electrical Performance of Electronic Packaging. Scottsdale, AZ, USA: IEEE, 2006:245-248. doi: 10.1109/EPEP.2006.321240.
- [3] LI Dong,XU Jianggang,ZHANG Bo, et al. GCPW to stripline vertical transition for K-band applications in LTCC[C]// 2015 Asia-Pacific Microwave Conference(APMC). Nanjing,China:IEEE, 2015:1-3.





- [4] 王辉. Ka波段微带到带状线垂直互联技术研究[C]// 2017年全国天线年会. 西安:西安电子科技大学出版社, 2017:656–659. (WANG Hui. Research on vertical interconnection technology of Ka-band microstrip to stripline[C]// 2017 National Antenna Annual Conference. Xi'an, China: Xidian University Press, 2017:656–659.)
- [5] 兰云鹏,吴景峰,王抗旱. 微波信号 LTCC 多层互连设计[J]. 舰船电子工程, 2014,34(1):86-88,123. (LAN Yunpeng, WU Jingfeng, WANG Kanghan. Microwave signal LTCC multilayer interconnection design[J]. Ship Electronics Engineering, 2014,34 (1):86-88,123.) doi:10.3969/j.issn1672-9730.2014.01.025.
- [6] 张梦璐,楚然,孙琳琳,等. 基于耦合的低损耗Q波段3D垂直互联结构[C]//2021年全国微波毫米波会议.南京:[s.n.], 2021: 106-108. (ZHANG Menglu, CHU Ran, SUN Linlin, et al. Low-loss Q-band 3D vertical interconnection structure based on coupling[C]// Proceedings of the 2021 National Microwave and Millimeter Wave Conference. Nanjing, China: [s. n.], 2021: 106-108.)
- [7] LI Zhipeng, WANG Ping, ZENG Rong, et al. Analysis of wideband multilayer LTCC vertical via transition for millimeter-wave system-in-package[C]// 2017 the 18th International Conference on Electronic Packaging Technology(ICEPT). Harbin, China: IEEE, 2017:1039-1042. doi:10.1109/ICEPT.2017.8046620.
- [8] LEIB M, MIRBACH M, MENZEL W. An ultra-wideband vertical transition from microstrip to stripline in PCB technology[C]// 2010 IEEE International Conference on Ultra-Wideband. Nanjing, China: IEEE, 2010:1-4.
- [9] 贾文强,陈建荣.一种基于 LTCC 技术毫米波垂直互连过渡结构设计[J]. 电子设计工程, 2015,23(10):86-88,92. (JIA Wenqiang, CHEN Jianrong. A millimeter microwave vertical interconnection transition structure design based on LTCC technology[J]. Electronic Design Engineering, 2015,23(10):86-88,92.) doi:10.3969/j.issn.1674-6236.2015.10.027.
- [10] 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, 2016,39(8):19-21,26. (ZHANG Guozhong,LI Wei. Broadband vertical microstrip to stripline transition via electromagnetic coupling[J]. Electronic Measurement Technology, 2016,39(8):19-21,26.) doi:10.3969/j.issn.1002-7300.2016.08.005.

作者简介:

邹辉耀(1998-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为高集成毫米波频段多波束T/R组件设计.email:zou huiyaka@163.com. **孙树风**(1976-),男,硕士,研究员,主要研究方向 为卫星通信技术及卫星载荷技术研究.

张晓阳(1986-),男,博士,高级工程师,主要研究 方向为毫米波电路与系统.