

# 一种有高度差的射频传输方法研究

郭立涛

(中国电子科技集团公司第十三研究所, 河北 石家庄 054000)

**摘要:** 介绍了微波组件中不同射频传输线或射频元器件输入和输出端口之间有高度差的一种解决方法, 建立了台阶电路板的射频传输线模型, 并对传输线模型进行三维电磁仿真, 得到了仿真参数。通过分析传输线的回波损耗和插入损耗, 对仿真模型进行优化, 并加工实物验证该方法的可行性。

**关键词:** 高度差; 射频传输线; 台阶电路板

**中图分类号:** TN958.92

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-7344(2023)48-0136-03

## 0 引言

目前, 微波组件的应用环境越来越复杂, 使用场合也越来越多, 当前微波组件正朝着小型化、高集成、多通道、高效率的方向发展。微波组件由装在不同电路板上的裸芯片组成一个完整的射频传输链路。正常设计中, 要求整条射频链路上不同功能的射频器件输入、输出端口级联时的高度差不大于  $0.2\text{mm}$ , 否则由于引入的寄生效应, 射频传输的连续性被破坏。回波损耗和插入损耗会有不同程度的恶化, 工作频率越高, 影响越明显。在射频组件小型化和高集成的应用场景下, 微波组件的输入端口和输出端口不在一个水平面上的情况越来越多。随着技术的发展, 射频组件的工作频率不断提高。为了适应工程应用对射频组件的新需求, 并降低射频传输链路失配对传输特性的影响, 本文提出了一种新颖的满足小型化和高集成射频组件使用的一种有高度差的射频传输线过渡方法。

## 1 具有高度差的射频传输链路解决方案

在一款 Ku 波段微波组件设计过程中, 为了匹配前后级射频功能模块和后级射频功能模块的整体布局, 微波组件的射频输入端的 SMP 连接器和射频输出端 SMP 连接器设计在不同的参考平面上, 互联结构如图 1 所示。

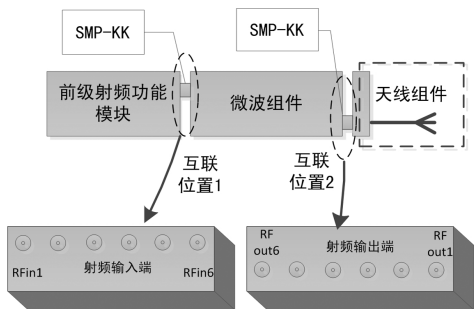


图1 具有高度差的互联结构

这个射频传输系统包括前级射频模块、微波组件和天线组件。为了匹配前级射频模块的输出端口和天

线组件的位置, 微波组件的射频输入端和射频输出端不在一个平面上, 两个参考平面之间的高度落差为  $4.5\text{mm}$ 。该高度差给微波组件的设计带来了很大的困难, 随着工作频率的提升, 该问题越难通过常规的射频级联方式处理, 必须采用专门的过渡结构来实现。

对于射频端口存在高度差的微波组件, 考虑到所选用的元器件均为平面结构, 不能直接实现高度差的过渡, 因此, 组件内部射频传输布局时会设计在不同的参考 GND 平面上。内部将 PCB 电路板按功能分成不同的模块设计, 元器件合理地布局到不同高度差的电路板上, 具有高度差的微波组件装配如图 2 所示。图中虚框内的互联点 1 (芯片输出 PAD) 和互联点 2 (微带线互联 PAD) 通过金丝键合互联, 两个键合点的高度落差有  $4\text{mm}$  以上。为验证该高度差是否可以采用金丝键合的方式进行射频端口级联, 对上述结构进行建模仿真, 仿真模型如图 3 所示。具有高度差传输结构回波仿真结果如图 4 所示。

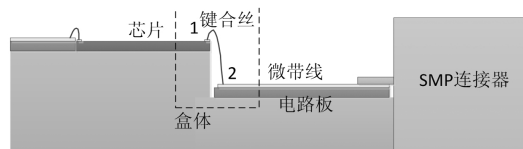


图2 具有高度差的微波组件装配

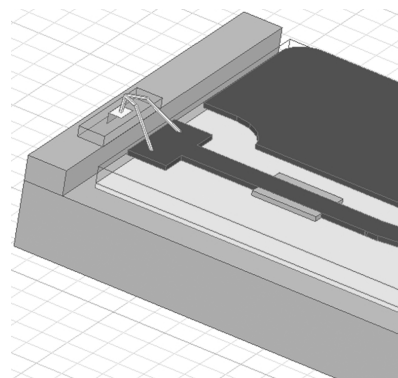


图3 具有高度差传输结构仿真模型

在直接金丝键合的情况下, 回波损耗  $S_{11}$  的仿真

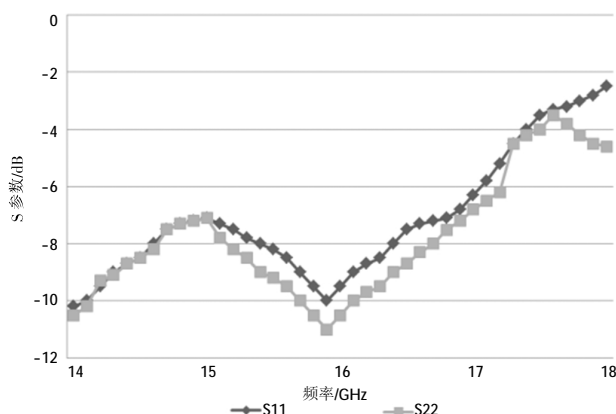


图4 具有高度差传输结构回波仿真结果

结果为  $-10 \sim -7.25\text{dB}$ ;  $S_{22}$  仿真结果在  $-12.5 \sim -7.55\text{dB}$ , 不满足工程化使用要求。由此可见, 在 Ku 工作频段不通过任何射频过渡结构, 直接通过金丝键合的方式互联, 很难通过阻抗匹配的方式来解决两个不同电路板的互联问题, 针对此问题需要开展专项研究。

本文中作者提出了通过多层压合的台阶电路板解决传输高度差的方法。台阶电路板采用微波多层材料设计, 选用介电常数为  $2.94 \pm 0.03$  的介质板, 为了保证高度差符合要求, 电路板设计为 6 层结构, 叠层结构如图 5 所示, 第一层介质板厚度为  $0.127\text{mm}$ , 第二层介质板厚度  $3.55\text{mm}$ , 第三次介质板厚度为  $0.254\text{mm}$ , 计算上各层覆铜的厚度, 该台阶电路板的总厚度设计值在  $4.1\text{mm}$  左右, 符合使用要求。

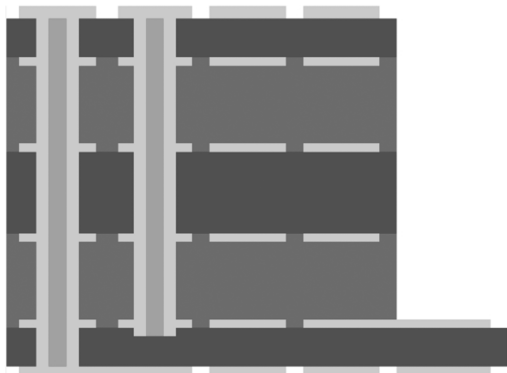


图5 叠层结构

由图 5 可见, 台阶电路板设计了两种孔, 第一种为 VIA 孔, 均为射频地孔; 第二种为背钻盲孔。背钻盲孔为了互联台阶上的射频微带线和台阶下的射频微带线, 实现高度差的过渡。

在台阶过渡结构中, 不同高度差过渡部分采用类同轴形式实现, 同轴结构的特性阻抗计算公式<sup>[1-3]</sup>如下:

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D_0}{D_i} \quad (1)$$

式中:  $Z_c$ ——同轴结构特性阻抗;  $D_i$ ——过孔直径;

$D_0$ ——各屏蔽过孔中轴围成的圈外径;  $\epsilon_r$ ——介电常数。

通过仿真软件建模进行仿真, 模型如图 6 所示。模型中包含 4 个组成部分分别是台阶上的电路、键合金丝、台阶过渡电路板、SMP 连接器。仿真在工作频带内回波损耗  $\leq 15\text{dB}$ , 插入损耗  $\leq 0.3\text{dB}$ 。仿真结果如图 7 所示, 其中图 7a 为回波损耗仿真结果, 图 7b 为插入损耗仿真结果。

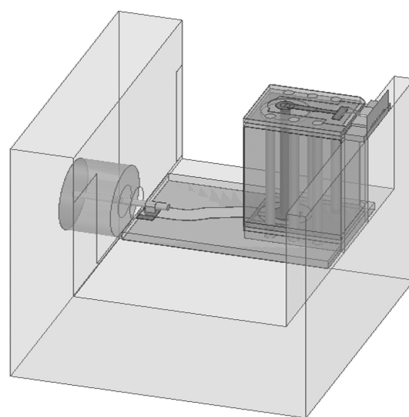
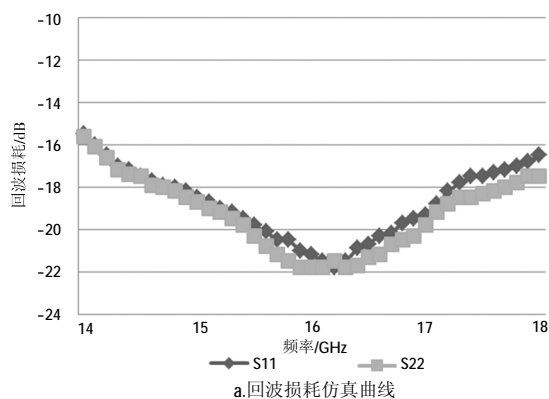
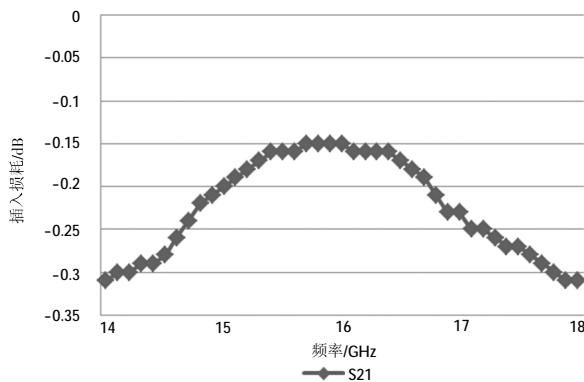


图6 仿真模型



a.回波损耗仿真曲线



b.插入损耗仿真曲线

图7 仿真结果

## 2 实物设计制作及测试结果

根据仿真结果绘制 PCB 板, 台阶上微带线采用 T 型结构设计, T 型结构尺寸为  $0.72\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ , MID4 层为了保证阻抗匹配, 单独设计一个直径为  $0.7\text{mm}$  的 PAD, 做为阻抗变换的匹配结构。台阶下微带线宽度

0.6mm, 带线渐变宽度 0.2mm, PCB 设计结果如图 8 所示, 加工实物如图 9 所示。

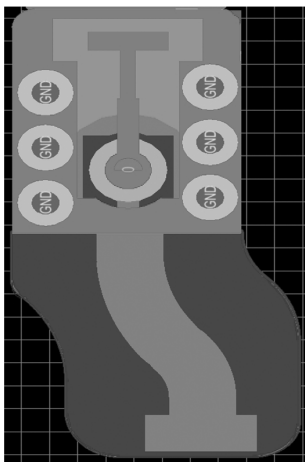


图 8 过渡台阶板 PCB 设计

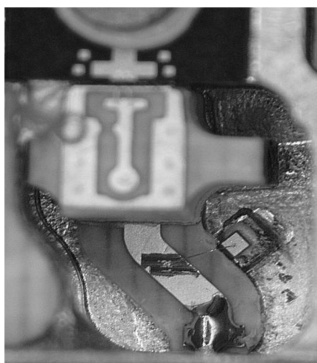


图 9 台阶过渡结构实物

将过渡台阶板装入微波组件中, 与台阶板直接互联的射频器件是微带环形器和 SSMP 连接器<sup>[4]</sup>。

为了验证本文方法的有效性, 选用同样射频器件设计两个射频链路, 其中链路 1 具有射频传输高度差, 通过装配台阶板实现过渡; 链路 2 的所有射频器件输入、输出端口均设计在一个平面上, 不存在高度差, 未装配有台阶板。对两种微波组件测试结果进行对比, 如表 1 所示。

表 1 测试结果对比

序号	测试项目	台阶板组件(典型值)	未装配台阶板组件(典型值)
1	增益 Ga	23.5dB	23.9dB
2	噪声系数 NF	3.2dB	2.9dB
3	回波损耗	15.5dB	16.5dB

样品增益和回波损耗的测试曲线分别如图 10、图 11 所示。图 10 中 Ga1 为未装配有台阶板的射频链路, Ga2 为装有台阶板的射频链路。增加台阶板后增益曲线无畸变。

由表 1 及图 10 和图 11 测试结果对比, 可计算出台阶过渡板的损耗约为 0.4dB, 回波损耗恶化约 1dB, 在预期范围内, 指标满足要求。可以应用于具有高度差

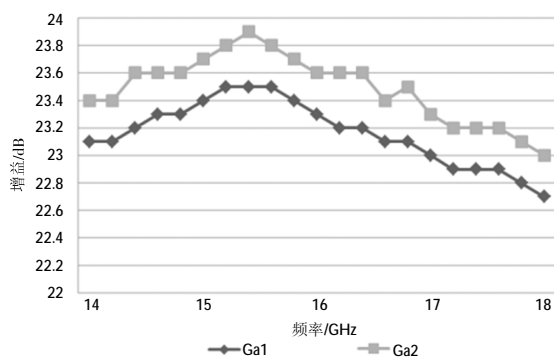


图 10 增益比较

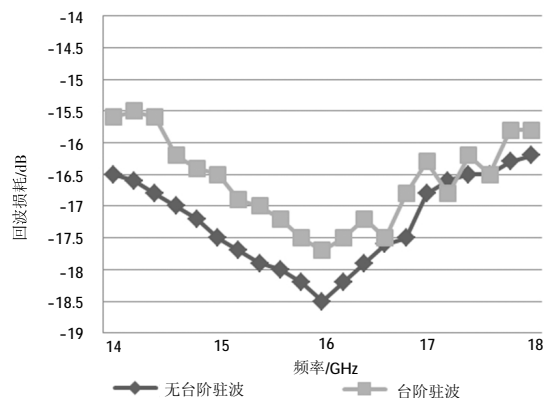


图 11 回波损耗比较

的射频传输链路中<sup>[4]</sup>。

### 3 结论

本文设计了一种应用于微波组件不同射频传输线级联端口有高度差的问题的解决方法, 该过渡结构在 Ku 频段内设计插损低于 0.25~0.3dB, 回波损耗优于 15dB, 在实际工程应用中, 实测损耗在 0.3~0.4dB, 测试微波组件的总体指标满足应用需求, 经高低温测试等试验验证, 测试指标无明显变化, 对于解决有高度差的微波组件设计难题, 有很重要的工程应用价值。

### 参考文献

- [1] 张之光, 徐正, 刘骁, 等. 一种用于瓦片式 T/R 组件的垂直互连方式[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(11): 3104-3108.
- [2] 王钰山, 王志刚. TR 组件中关键射频电路设计[C]//中国电子学会. 2022 年全国微波毫米波会议论文集(下册). 哈尔滨: 2022 年全国微波毫米波会议, 2022: 449-451.
- [3] 钟剑锋, 吴夜秋. 微波组件的制造技术[J]. 电子机械工程, 2004(1): 35-36.
- [4] 严伟, 禹胜林, 房迅雷. 基于 LTCC 技术的三维集成微波组件[J]. 电子学报, 2005(11): 91-94.
- [5] 程志远, 胡权, 刘均东, 等. 微波组件的关键组装工艺技术[J]. 电子工艺技术, 2014, 35(6): 345-349, 357.

作者简介: 郭立涛(1982—), 男, 汉族, 河北邢台人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为微波电路与模块。