

# Ka 波段波导-带状线转换结构

张国忠 刘 锋 李 伟

(中国航空工业集团公司雷华电子技术研究所 无锡 214063)

**摘要:** 提出了一种 Ka 波段波导-带状线转换结构,通过在多层介质板上地层的椭圆形开孔与两个椭圆形金属贴片结构完成带状线与波导之间的电磁耦合与匹配设计,实现了 Ka 波段信号在波导与带状线之间的相互转换。同时将背靠背波导-带状线转换结构在三维电磁场仿真软件中进行了建模和优化仿真。经过加工与测试,结果表明,在 32.3~38.3 GHz 的频带内输入与输出回波损耗小于-10 dB,插入损耗小于 1.2 dB。该 Ka 波段波导-带状线转换结构具备良好的性能,且具有结构简单、加工方便等优点,在毫米波电路设计方面具有较高的应用价值。

**关键词:** 多层介质板;Ka 波段;波导-带状线转换;椭圆形金属贴片

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

## Waveguide to stripline transition structure for Ka-band

Zhang Guozhong Liu Feng Li Wei

(AVIC Leihua Electronic Technology Research Institute, Wuxi 214063, China)

**Abstract:** In this paper a waveguide to stripline transition structure for Ka-band is proposed. In this designs, waveguide to stripline transition are realized in multilayer circuit board, which are coupled and matched through elliptical slots and two elliptical metal patches. The proposed structure is designed by software and the back-to-back transition is simulated, fabricated and tested. The measurements of the designs exhibit that the input and output return loss less than -10 dB and the insert loss less than 1.2 dB between 32.3 and 38.3 GHz. The results show that this proposed structure has a good performance, the structure is simple and the processing is convenient and so on. All this indicates the structure has a good applicable worthiness in microwave circuit designs.

**Keywords:** multilayer circuit board; Ka-band; waveguide to stripline transition; elliptical metal patch

## 0 引 言

随着雷达、电子战,特别是 5G 通信等新技术的发展,毫米波技术越来越受到重视。毫米波元器件与微波元器件相比尺寸小,系统体积小、重量轻,这些特点正是各种精确制导武器和电子设备所要求的。毫米波目前在民用方面主要是毫米波通信,其中包括卫星毫米波通信、测量雷达、车船防撞、地形测绘和射电天文方面。

在微波毫米波系统中,微带线与矩形波导仍然是信号的主要传输形式,其技术已经比较成熟,在无源、有源电路设计、系统设计<sup>[1-3]</sup>中得到广泛的应用。同时随着技术的进步与发展,微波多层介质板技术<sup>[4-5]</sup>与毫米波波导-微带过渡结构也已经得到了广泛的应用,大大提高了微波毫米波系统的集成度和小型化。文献[6]采用微带基片上的环形金属条带电路实现了毫米波波导到微带线的转换,文献[7]

提出了一种 Ka 波段悬置带线-波导转换结构,其中带宽可以达到 13%。从文献[6-7]以及其他公开的文献资料可以看出,目前的毫米波微带-波导过渡结构都需要结构件的配合设计来实现,结构件的存在使得微波毫米波系统的体积与重量加大,结构设计变得更加复杂,不利于电子系统小型化、集成化的发展需求。

在目前的微波毫米波电路设计中,波导-微带线之间的相互转换得到了广泛的研究与应用,发展出了多种形式,比如探针过渡、鳍线过渡等,而对毫米波波导-带状线转换结构则研究的比较少,本文提出了一种 Ka 波段波导-带状线转换结构,在不需要任何结构件的情况下,在多层介质板内实现了从 32.3~38.3 GHz 的频带范围内波导-带状线的转换,同时对背靠背转换结构进行了加工与测试,测试结果表明该结构具备了良好的传输特性,对提高毫米波电路设计灵活性、集成度、小型化等具有重要意义。

### 1 Ka波段波导-带状线转换结构设计

在实际应用中,矩形波导仍然是毫米波系统中信号的主要的传输方式,其具有结构简单、功率容量大、损耗小、电磁兼容性好、机械强度大等特点,同时还能很好的隔绝外界干扰。因为其内部信号传输不依赖于导体,所以相对于带状线与微带线来说有着很小的传输损耗。在大中功率发射系统、接收前端、天线系统中有着广泛的应用。

矩形波导中不能传输 TEM 波,只能传输 TE 波或 TM 波。通常矩形波导工作在 TE<sub>10</sub> 模单模传输状态,这是因为 TE<sub>10</sub> 模很容易实现单模传输,同时在工作频率固定的情况下,传输其的矩形波导尺寸最小。TE<sub>10</sub> 模的场分量为<sup>[8]</sup>:

$$E_y = E_0 \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}$$

$$H_x = -\frac{\beta}{\omega\mu} E_0 \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (1)$$

$$H_z = j \frac{1}{\omega\mu} \frac{\pi}{a} E_0 \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{j(\omega t - \beta z)}$$

矩形波导相对于带状线、微带线传输线而言也有体积及重量大等缺点。带状线有着被外导体包围的中心导体以及均匀的电介质,其工作的通常模式为 TEM 波<sup>[9-10]</sup>,其具有抗外界干扰以及电磁兼容性好等优点。带状线内部的电力线与磁力线如图 1 所示。

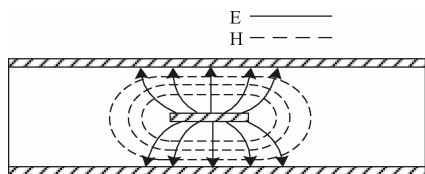


图 1 带状线内部的场分布

本文采用多层介质板技术设计的 Ka 波段波导-带状线转换结构截面图如图 2 所示,要实现 Ka 波段波导-带状线转换,不仅意味着传输模式要从波导内的 TE 模转换到带状线的 TEM 模,同时也要求波导与带状线之间通过转换结构来实现阻抗匹配<sup>[11-13]</sup>。

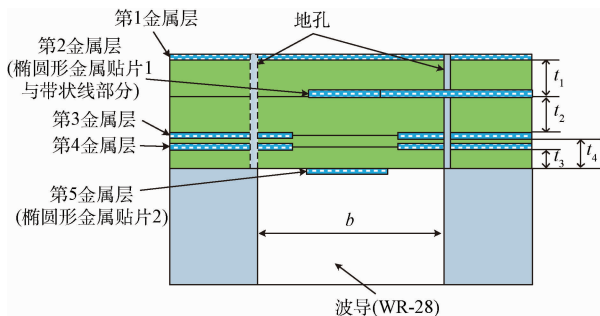


图 2 Ka 波段波导-带状线转换结构截面

该 Ka 波段波导-带状线转换结构的原理如图 3 所示,其可以等效为一个两个端口开路的四端口耦合器<sup>[5,14-15]</sup>,其

中端口 1 为输入端口,端口 2 为输出端口,端口 3 与端口 4 处于开路状态,其反射系数为 1。在本设计中端口 1 的馈电方式为带状线,端口 2 的馈电方式为 WR-28 波导,通过调节椭圆形金属贴片 1、椭圆形金属贴片 2 的长轴和短轴长度以及第 3 金属层、第 4 金属层上开孔的长轴和短轴长度,在三维电磁场仿真软件中对各个参数进行仿真和优化,最终实现波导(WR28)与带状线之间的阻抗匹配,完成波导-带状线的转换设计。

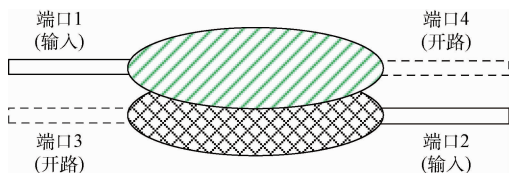


图 3 微带线到带状线宽带垂直耦合过渡结构等效电路原理

该 Ka 波段波导-带状线转换结构的介质板板材选用 CLTE-XT,其相对介电常数为 2.94,  $\tan\delta=0.0012$ 。该转换结构主要由第 1、2、3、4、5 金属层以及介质板组成。其中,第 1 金属层为地层;第 2 金属层包含椭圆形金属贴片 1 与带状线部分;第 3 金属层与第 4 金属层为有着椭圆形开孔的地层;第 5 金属层为椭圆形金属贴片 2。其结构分别如图 4 所示,在实际仿真过程中通过调节图 4 中的各个参数,完成转换结构的设计与优化,实现波导与带状线之间的阻抗匹配。

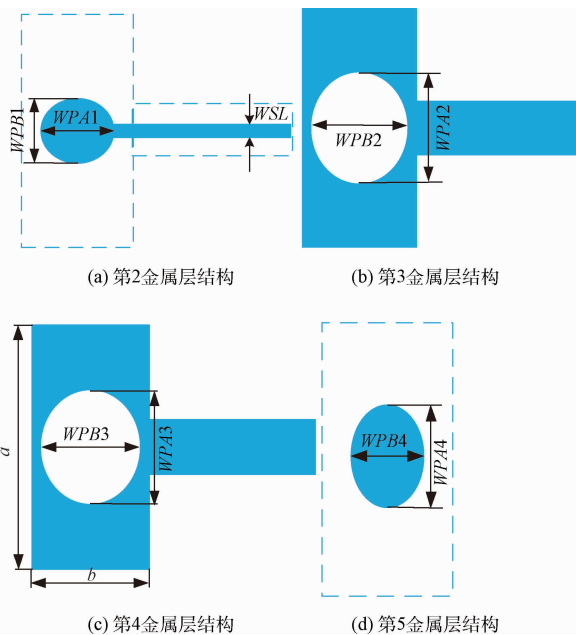


图 4 各个金属层结构图以及各部分尺寸

将设计的 Ka 波段波导-带状线转换结构在三维电磁场仿真软件中进行了建模、仿真,结构如图 5 所示;将该结构

表 1 Ka 波段波导-带状线转换结构参数表

参数	含义	值/mm
$t_1$	第 1 层介质厚度	0.508
$t_2$	第 2 层介质与半固化片的总厚度	0.608
$t_3$	第 3 层介质厚度	0.254
$t_4$	第 3 层介质与半固化片厚度	0.354
WSL	带状线宽度	0.64
WPA1	第 2 金属层上的椭圆形金属贴片 1 的长轴长度	2.2
WPB1	第 2 金属层上的椭圆形金属贴片 1 的短轴长度	2.1
WPA2	第 3 金属层上的椭圆开孔的长轴长度	4
O2	第 3 金属层上的椭圆开孔的长轴长度	1.52
WPA3	第 4 金属层上的椭圆开孔的长轴长度	4
WPB3	第 4 金属层上的椭圆开孔的短轴长度	1.52
WPA4	第 5 金属层上的椭圆形金属贴片 2 的长轴长度	2.2
WPB4	第 5 金属层上的椭圆形金属贴片 2 的短轴长度	1.54
$a$	WR-28 波导长	7.11
$b$	WR-28 波导宽	3.56

的各个参数进行了优化仿真,最终的尺寸参数如表 1 所示。

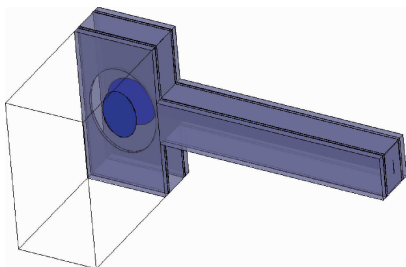


图 5 Ka 波段波导-带状线转换结构模型

## 2 Ka 波段波导-带状线背靠背转换结构测试结果

为了方便对本文所述的结构进行测试,对 Ka 波段波导-带状线背靠背转换结构<sup>[6]</sup>进行了加工、测试,测试的实验条件为将矢量网络分析仪采用相应的波导校准件进行校准,而后矢量网络分析仪的两个波导端口分别与该背对背结构的两个端口连接,对其 S 参数进行测量。

该波导-带状线背靠背转换结构的 S 参数实测结果如图 6 与 7 所示,从两幅图中可以看出该 Ka 波段波导-带状线背靠背转换结构具备了良好的性能,在 32.3~38.3 GHz 的频带范围内输入与输出回波损耗  $< -10$  dB,插入损耗  $S_{21} < 1.2$  dB。产品的最终实物照片如图 8 所示。

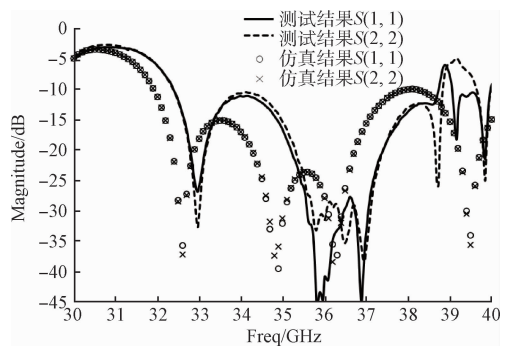


图 6 Ka 波段波导-带状线背靠背转换结构 S11、S22 测试结果与仿真结果对比

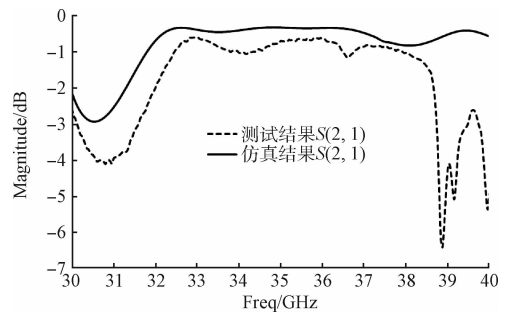


图 7 Ka 波段波导-带状线背靠背转换结构 S21 测试结果与仿真结果对比

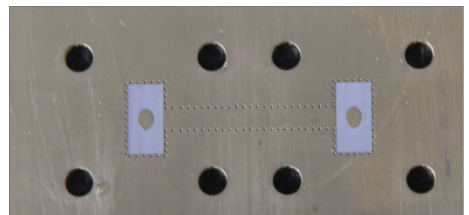


图 8 Ka 波段波导-带状线背靠背转换结构 (与 WR-28 波导对接部分)实物照片

## 3 结 论

本文基于多层介质板技术,阐述了一种 Ka 波段波导-带状线转换结构的设计,通过地层上的椭圆形开孔与 3 个椭圆形金属贴片结构来实现了波导与带状线之间的转换,并对波导-带状线背靠背转换结构进行了加工与测试,结果显示该转换结构在 32.3~38.3 GHz 频率范围内具备了良好的性能。同时该转换设计不需要结构件的配合,具有结构简单,加工精度易于控制、精度高、批次一致性等优点,对提升毫米波电路设计的灵活性、集成度和小型化具有重要意义。

## 参考文献

[1] 王燕燕,姜弢,李迎松,等. 基于缺陷微带线结构的三阻带滤波器研究[J],电子测量与仪器学报,2016,

- 30(4):645-651.
- [2] 秦楚,殷新社. 分歧波导多工器综合方法研究[J], 国外电子测量技术, 2016, 35(8):76-81.
- [3] 谢涛,何怡刚,姚建刚,等. 基于改进BP算法的微带射频带通滤波器设计[J], 仪器仪表学报, 2009, 30(6):1317-1323.
- [4] 李力,年夫顺. 微波多层印制板带通滤波器[J], 国外电子测量技术, 2013, 32(4):63-65.
- [5] 张国忠. 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):19-26.
- [6] 蒲大雁,李晓辉,徐军,等. 一种基于磁耦合原理的毫米波矩形波导-微带过渡[J]. 微波学报, 2010, 26(6):81-84.
- [7] GLOGOWSKI R, ZÜRCHER J, PEIXEIRO C, et al. IEEE Ka-band rectangular waveguide to suspended stripline transition[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2013, 23(11):575-577.
- [8] 蒲大雁,基于磁耦合的矩形波导-微带过渡电路研究及应用[D]. 成都:电子科技大学, 2009.
- [9] 王福谦. 带状线内 TEM 波的场分布及其结构仿真[J]. 大学物理, 2016, 35(1):24-30.
- [10] 李坤,屈德新,钟兴建,等. 高带外抑制带状线带通滤波器设计[J]. 军事通信技术, 2016, 37(2):64-66.
- [11] 黄勇,玄晓波,周小林,等. 一种新型的波导-双带状线的等功分转换器[J]. 电子设计工程, 2016, 24(2):93-95.
- [12] GOMI K, HIURA S, SUZUKI M. Low-loss GCPW-to-WG transition in multilayer resin substrate for millimeter-wave applications [J]. Proceedings of the 42nd European Microwave Conference, 2012: 285-288.
- [13] ARTEMENKO A, MALTSEV A, MASLENNIKOV R, et al. Design of wideband waveguide to microstrip transition for 60 GHz frequency band [J]. Proceedings of the 41st European Microwave Conference, 2011: 838-841.
- [14] 冉涛,傅光,范一鹏,等. 一种新型双层微带定向耦合器[J]. 电子科技, 2011, 24(1):118-120.
- [15] 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.
- [16] 李钰,翁鹏飞. 毫米波宽带 H 面波导微带转换结构[J]. 电子设计工程, 2015, 23(24):90-92.

## 作者简介

张国忠, 1985 年出生, 工程师, 硕士, 主要研究方向为射频电路设计、接收通道设计。

E-mail: guozhongzhang@163.com