

# 毫米波微带波导过渡设计

喻梦霞 徐军 薛良金

(电子科技大学物理电子学院, 四川, 成都, 610054)

**摘要** 利用高频分析软件 HFSS 仿真分析了 Ka 频段对脊鳍线微带波导过渡结构. 将仿真结果对影响过渡性能的几个因素进行了分析, 得出了可供工程应用参考的设计曲线, 并根据曲线设计了微带波导过渡, 在整个 Ka 频段内, 插入损耗小于 1dB. 实验结果与设计曲线结果相符.

**关键词** 毫米波, 过渡, HFSS 仿真, 对脊鳍线.

## MILLIMETERED WAVE WAVEGUIDE-TO-MICROSTRIP TRANSITION DESIGN

YU Meng-Xia XU Jun XUE Liang-Jin

(College of Physical Electronics, The University of Electronic Science and Technology of China,  
Chengdu, Sichuan 610054, China)

**Abstract** A Ka-band antipodal finline waveguide-to-microstrip transition was analyzed and simulated by HFSS software. The several factors of simulation result for affecting performance of transition, are analyzed, and a design curve of transition available for project application is obtained. Based on the curve, the waveguide-to-microstrip transition is designed. The insertion loss of transition is below 1 dB in the Ka-band. Experimental results coincide well with the design curve.

**Key words** millimeterwave, transition, HFSS simulation, antipodal finline.

### 引言

随着毫米波技术在无线通讯和雷达系统中应用的不断增多, 低成本、高可靠性的毫米波单片集成电路(MMIC)的使用也日趋广泛. 在使用 MMIC 的毫米波接收系统中, 对各个 MMIC 之间的连接采用的是微带线. 而现有的毫米波测试系统采用的是矩形波导接口, 这就要求在使用 MMIC 的系统中寻找一种低成本、低损耗、易制造的宽带矩形波导到微带过渡. 目前常用的过渡结构有: 阶梯脊波导过渡<sup>[1]</sup>、对脊鳍线过渡<sup>[2-4]</sup>、耦合探针过渡<sup>[5,6]</sup>等. 这些过渡结构带宽较宽(在 10 ~ 20% 的带宽内回波损耗在 15dB 以下), 插入损耗小. 其中阶梯脊波导过渡加工复杂, 耦合探针过渡因波导出口方向与电路平行, 使其不满足很多系统结构的要求, 而对脊鳍线过渡, 因其可以采用微波印制版技术制作在价廉的软基片上, 现在已成为一种普遍运用的过渡结构.

最初由 J. H. C. van Heuven<sup>[2]</sup> 提出的对脊鳍线

过渡, 经 M. Dydyk、B. D. Moore<sup>[3]</sup>、G. E. Ponchak 和 Alan N. Downey<sup>[4]</sup> 等人的不断完善和发展, 现已可获得较宽的工作带宽. 但是由于这种结构形式的过渡要产生一系列的谐振模式, 如果某一谐振频率正好落入与其相连的器件的工作带宽, 就可能使其对器件产生耦合, 从而影响器件的性能. 这就使得其设计变得复杂, 因而妨碍了它的应用. 为此, 本文通过高频分析软件 HFSS 对引起过渡谐振的几个参数进行了分析, 得出了可供工程应用参考的设计曲线以满足工程设计的应用.

### 1 过渡物理模型分析

本文采用了由 George E. Ponchak 和 Alan N. Downey 提出的过渡结构. 在这个由波导到微带的过渡结构中, 对脊鳍线的 2 个金属鳍逐渐变成微带线. 制作在基片正反面的渐变鳍线构成了一圆弧形谐振区, 谐振区内的金属块是用来抑制谐振的(如图 1 所示). 过渡长度  $L$ , 谐振区长度  $X$  及谐振块与

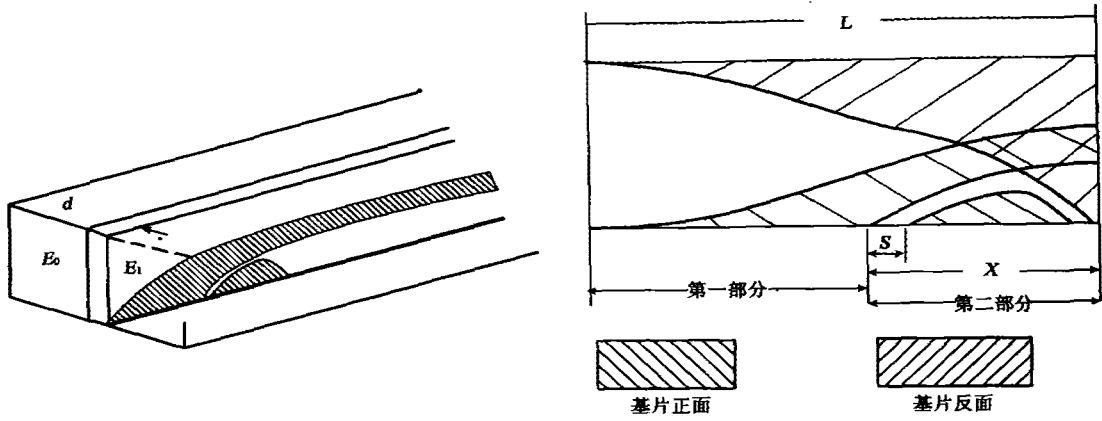


图 1 对脊鳍线微带波导过渡结构示意图  
Fig. 1 Antipodal finline waveguide-to-microstrip transition structure

金属鳍的距离  $S$  都会对过渡的性能产生影响。

在图 1 中,过渡被分为二部分,第一部分是一对渐变的对脊鳍线,它将波导中的  $TE_{10}$  模旋转  $90^\circ$  变成在对脊鳍线重叠部分中的准微带传输模式,并且还将高阻的  $TE_{10}$  波导模转换到接近标准微带线的  $50\Omega$ 。第二部分则将对脊鳍线过渡到标准微带线。过渡中的对脊鳍线渐变设计常采用沿渐变方向的平滑阻抗变换曲线,以便使由它引入的反射损耗在所要求的频带内低于可允许的极限值,并使渐变段的物理尺寸尽可能短。对于渐变曲线的设计已有很多经典曲线<sup>[7]</sup>,本文采用余弦平方线渐变来实现,这种曲线可实现  $20 \sim 25\text{dB}$  的回波损耗。在过渡的第二部分中,由于金属腔的存在,谐振在这一部分产生,

从而影响过渡的性能。因为谐振频率主要是由谐振区域的长度  $X$  决定的,所以通过改变  $X$  的长度,可以很方便的使谐振频率发生偏移,这样就可以通过改变  $X$  的长度来控制过渡的性能,使谐振频率尽量避开设计中心频率  $f_0$ ,这就保证了在设计要求的频段内使过渡性能达到一个较好的特性指标。在设计过渡的第二部分时,改变谐振区域的形状对谐振频率并不会产生很大的影响,起主要作用的还是  $X$ ,谐振频率  $f_r$  仅为  $X$  的函数,这样设计时可不考虑谐振区的形状。

此外,过渡总长以及谐振区内的金属块与鳍间的距离  $S$  对过渡性能也有较大影响。一般说来,过渡的长度越长,反射系数越小,可在允许的反射系数下

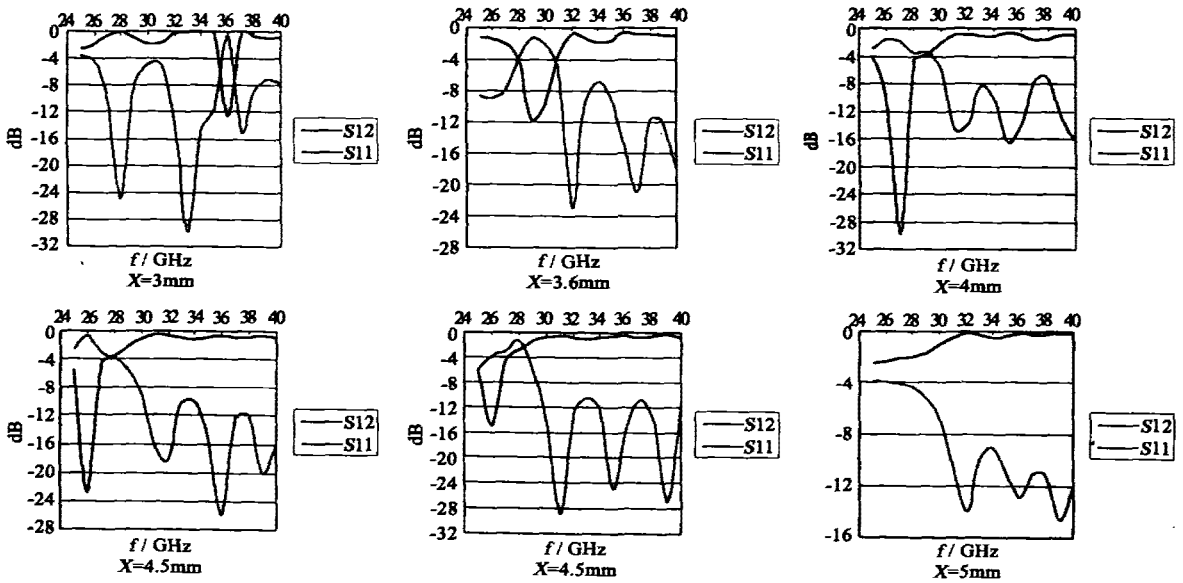


图 2 当  $X = 3\text{mm}, 3.6\text{mm}, 4\text{mm}, 4.5\text{mm}, 4.8\text{mm}$  和  $5\text{mm}$  时过渡的传输特性曲线  
Fig. Transmission performance of transition, when  $X = 3\text{mm}, 3.6\text{mm}, 4\text{mm}, 4.5\text{mm}, 4.8\text{mm}$  and  $5\text{mm}$

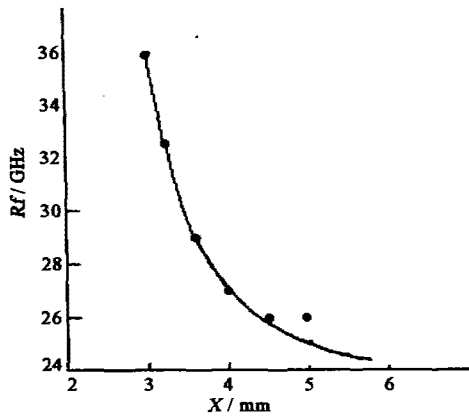


图3 谐振频率随 X 长度变化曲线图  
Fig.3 Resonance frequency versus X length

获得最短的过渡长度<sup>[7]</sup>. 在 Ka 频段,可用于工程设计的最短过渡长度大约为 10mm. 而 S 的大小对传输性能影响不大,但对回波损耗有明显的影响.

## 2 软件仿真结果

为了得出适用于工程应用的参考数据,为以后的相关设计提供参考,消除不必要的重复设计,减少设计所花费的时间和成本,本文通过高频仿真软件

HFSS 对不同的谐振块长度 X 及谐振块与渐变鳍线间的距离 S 的情况进行模拟分析,总结出这些参数变化对过渡性能的影响,以得出便于实际工程应用的结果. 通过将最优化结果制成实物进行测量,对比模拟计算结果与实际测量值之间的差异,以验证模拟曲线的正确性. 应用 HFSS 软件分析对脊鳍线过渡,所用介质基片为 Roger 公司的 Duriod5880,介电常数  $\epsilon_r = 2.22$ ,基片厚度  $d = 0.254mm$ .

优化分析时,先取某一确定的 S 值,然后改变 X 的取值,对比当 X 取不同值时传输特性的变化. 因为对于太小的 X 值没有工程应用价值,在此,在  $S = 0.254mm$  时,分别取 X 为 3,3.6,4,4.5,4.8 和 5mm. 这 6 种情况下过渡的传输特性曲线如图 2 所示.

从传输曲线上可见,X 越小,由谐振腔所引起的谐振频率越高,而当 X 逐渐增加到一定值时,例如当  $X \geq 4.8mm$  时,谐振频率已完全移出了 Ka 频段,但这时过渡的回波损耗却变差了. 因此,设计时应根据自己的需要决定所选取的 X 长度. 图 3 是根据 HFSS 仿真分析得到的过渡传输特性曲线所画出的谐振频率随 X 长度变化的曲线.

由上面的分析可知,太小和较大的 X 值都没有实际应用价值. 当  $X = 4.5mm$  时,过渡的传输特性和

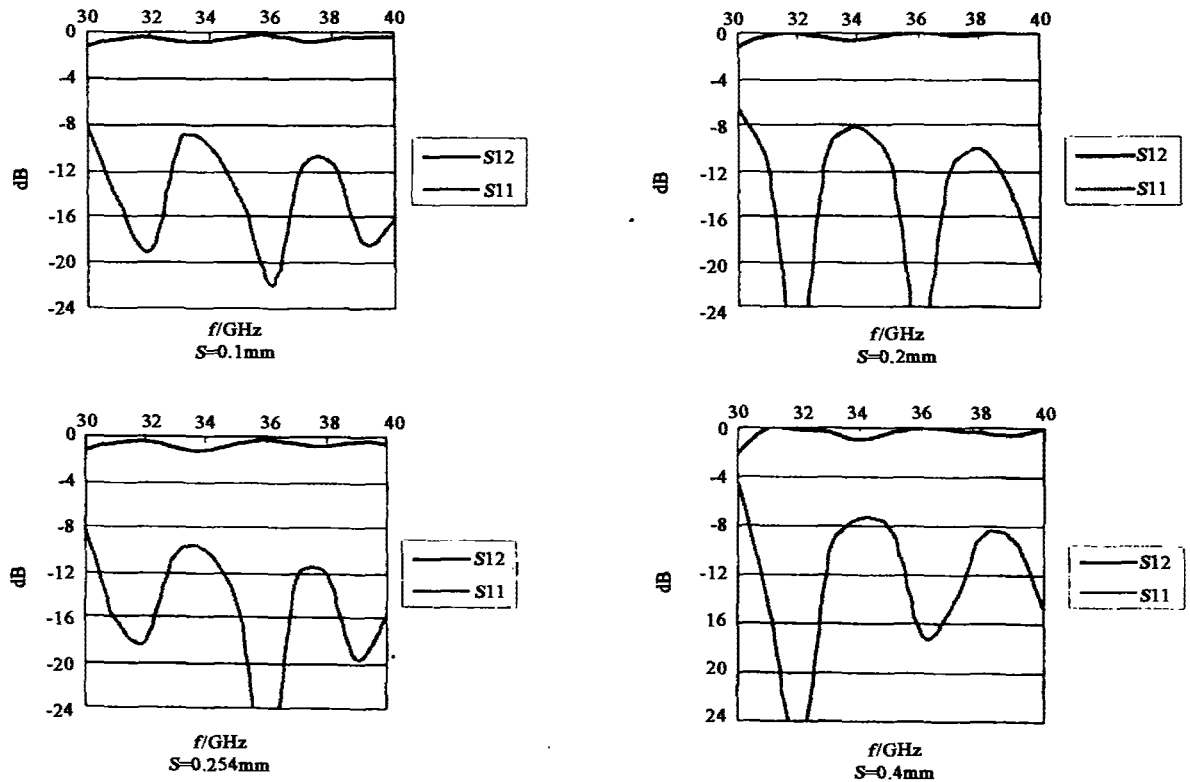


图4 当 S = 0.1mm, 0.2mm, 0.254mm 和 0.5mm 时过渡的传输特性曲线  
Fig.4 Transmission performance of transition, when S = 0.1mm, 0.2mm, 0.254mm and 0.4mm

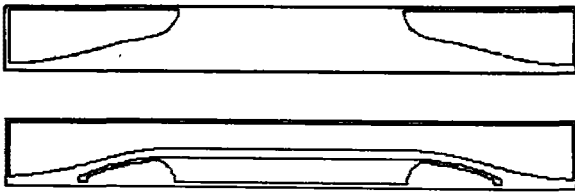


图5 过渡电路工程图  
Fig. 5 Transition circuit

回波损耗都较好,所以,我们把  $X$  固定在 4.5mm, 然后改变  $S$  的值,再来分析过渡性能的变化. 由于现在的微波印制板技术制作工艺所能达到的最小缝隙精度为 0.05mm, 而实际制作时一般情况下多取为 0.1mm, 所以选  $S$  的取值分别为 0.1, 0.2, 0.254, 0.4mm.  $S$  取值不同时过渡的传输特性如图 4 所示.

由分析曲线可见,改变  $S$  的长度,对传输性能影响不大,但对回波损耗有明显的影响,当  $S$  长度等于基片厚度时,此时的传输性能和回波损耗都能达到较好值,继续增大或减小  $S$  值,对传输性能影响不大,但回波损耗变差.

### 3 实验结果

根据设计仿真结果,将一对背靠背结构的对脊鳍线微带波导过渡进行测试(见图 5),采用 8mm 波导(7.112 × 3.556mm),介质基片为 Duroid5880,其参数为  $\epsilon_r = 2.22$ ,  $d = 0.254$ mm,微带阻抗  $Z_0 = 50\Omega$ ,过渡参数为:  $X = 4.5$ mm,  $S = 0.254$ mm,  $L = 10$ mm,其中连接两过渡的微带线长 10mm.

在标量网络分析仪 AV3611 上测试过渡,结果如图 6 所示.

图 6 的结果包括了 2 个对脊鳍线过渡(输入、输出各一个)以及 10mm 微带线的插入损耗,由此可推算出在整个 Ka 频段单个对脊鳍线过渡的插入损耗小于 1dB,与仿真结果基本吻合. 在实验结果图中,我们还发现,传输曲线上没有谐振频率的出现. 这主要是因为谐振频率在 26GHz 附近,而由于理论值与实验值之间存在差异,真实谐振频率可能已经偏离了 26GHz,在实际测量中,频率范围为 26.5GHz ~ 40GHz,谐振频率并不在测试频率范围内,所以测试曲线上看不到谐振峰.

在中心频率附近,该过渡很好的完成了由波导

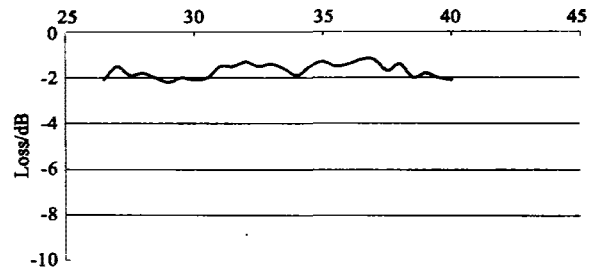


图6 背靠背结构的过渡段插入损耗  
Fig. 6 Insertion loss of back-to-back transition

到微带的转换,在实际测量中,损耗比软件仿真时要大,这主要是因为电路制作不可能完全达到仿真时的精度,再加上测量时波导接口与电路连接所造成的误差,造成测量结果比理论结果差,但在要求频段内都达到了设计要求,理论值与实验结果基本吻合,证明了仿真结果是可取的.

### 4 结语

本文通过 HFSS 软件对对脊鳍线微带波导过渡进行了仿真,得到了适合工程应用的设计曲线,并在实验中得到验证,获得了较好的结果,对于提高微波毫米波系统的性能无疑会有很大帮助.

### REFERENCES

- [1] Yao Hui-Wen, Abdelmonem Amr, Liang Ji-Fuh. A full wave analysis of microstrip-to-waveguide transition. *IEEE MTT-S*, 1994, 1: 213—216
- [2] J H C van Heuven. A New Integrated Waveguide-Microstrip Transition. *IEEE Trans. MTT*, 1976, 24(3): 144—147
- [3] Dydyk M, Moore B D. Shielded microstrip aids V-band receiver designs. *Microwaves*, 1982, 21(3): 77—82
- [4] Ponchak George E, Downey Alan N. A new model for broadband waveguide-to-microstrip Transition Design. *Microwave Journal*, 1988, 5: 333—343
- [5] Villegas Frank J, Stones D Ian, Hung H Alfred. A novel waveguide-to-microstrip transition for millimeter-wave module applications. *IEEE MTT*, 1999, 47(1): 48—55
- [6] Yoke-Choy Leong, Sander Weinreb. Full band waveguide-to-microstrip probe transitions. *IEEE MTT-S*, 1999, 4: 1435—1438
- [7] XUE Liang-Jin. *Foundation for Millimeter Wave Engineering*. Beijing: Defence Industrial Publication(薛良金. 毫米波工程基础. 北京:国防工业出版社), 1998