

3 mm 波段宽带混频器的设计

赵颖 宋翔

(上海精密计量测试研究所 上海 201109)

摘要:混频器广泛应用于通信接收系统,随着微波通信系统向高频段方向发展,高频段的毫米波混频器成为了重点研究毫米波器件之一。介绍了一种结构新颖的毫米宽带混频器的设计,本振信号由矩形波导向悬置微带线引入,射频信号由矩形波导向鳍线引入,一对肖特基二极管搭在悬置微带线和鳍线之间构成了平衡混频电路,经仿真验证,设计出的毫米波宽带混频器在 75~105 GHz 的工作频率上,变频损耗优于 12 dBm,各端口之间的隔离度也优良,且该混频器具有结构简单、易于加工等优点。

关键词:3 mm 波段;平衡混频器;过渡波导;鳍线;悬置微带线

中图分类号: TN773.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1025

3 mm wave band balanced mixer in a novel configuration

Zhao Ying Song Xiang

(Shanghai Precision Metrology & Test Research Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: Mixer is widely used in communication receiving system. With the development of the microwave communication system towards high frequencies, the millimeter wave mixer of high frequencies is becoming the millimeter wave device which is the key researched. This paper presents a novel structure design of millimeter broadband mixer. The LO signal input from the rectangular waveguide to suspended microstrip line and the RF signal from a rectangular waveguide to a fin line. The suspended microstrip lines and finline with a pair of diodes rested between them constitute a balanced mixing circuit. Through the simulation of the millimeter-wave broadband mixer, it owns a 75~105 GHz operating frequency, and its conversion loss is better than 12 dBm. The isolation among the three ports is also excellent. In addition, the mixer's structure is very simple and easy processed.

Keywords: 3 mm wave band; balanced mixer; transition waveguide; fin line; suspended microstrip lines

0 引言

毫米波混频器是接收系统前端必不可少微波部件,其作用是将接收到的高频信号转换为易处理的中频信号。在微波测量仪器中,由于其工作带宽一般非常大,高性能的宽带混频器更是必不可少的微波部件之一^[1]。因此,在毫米波波段,研制出高性能的混频器十分重要,其性能的优良直接关系到整个微波毫米波接收系统的好坏^[2]。

本文从平衡混频器的基本原理出发,结合信号在矩形波导内部的传输原理,分别通过过渡波导和鳍线的过渡方式,将本振和射频信号加载到平衡二极管对上,实现了 3 mm 波段混频器的设计。同时,通过在中频通路设计合适的低通分布参数滤波器,大大提高了混频器的隔离度。

1 混频器的设计

整个混频器的结构主要由射频输入端和本振、中频通路两部分构成,如图 1 所示。射频信号由标准 3 mm 矩形波导过渡为一段单面对称鳍线后输入。本振信号输入端由标准 3 mm 矩形波导渐变为一过渡波导后与一段悬置微带线相接,实现了矩形波导到悬置微带线的过渡。悬置微带线的一段与射频信号输入的鳍线之间接入一对反向的二极管对,构成一个 180°混合结平衡混频电路,由于鳍线与悬置微带线的电场相互正交,因此射频信号很难从鳍线上向悬置微带线上泄露出去,提高了整个混频器的隔离度^[3]。中频信号由悬置微带线的另一端经一个低通滤波器后输出。

收稿日期:2017-03

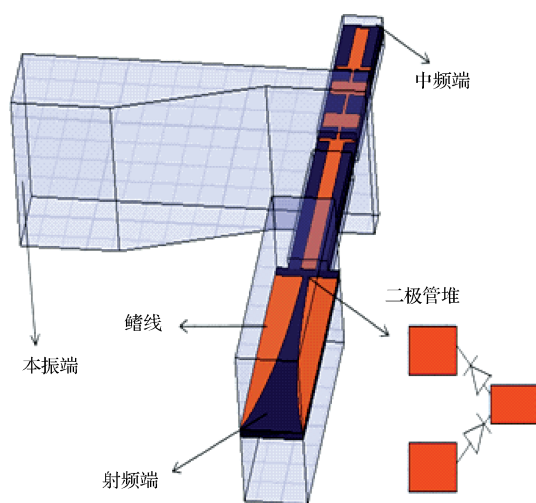


图1 混频器的整体结构

1.1 本振、中频通路的设计

由于混频电路是介于鳍线和悬置微带线上的,而本振信号是由标准 3 mm 矩形波导输入的,因此,本振通路应该设计出一个传输性能良好的矩形波导-悬置微带的过渡段,中频通路由过渡段的微带线的另一端接上一个低通滤波器后引出。设 a 为矩形波导内壁的宽边, b 为窄边,则矩形波导中每个 TE_{mn} 和 TM_{mn} 导模的截止频率和截止波长分别为:

$$f_{cTE_{mn}} = f_{cTM_{mn}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (1)$$

$$\lambda_{cTE_{mn}} = \lambda_{cTM_{mn}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}} \quad (2)$$

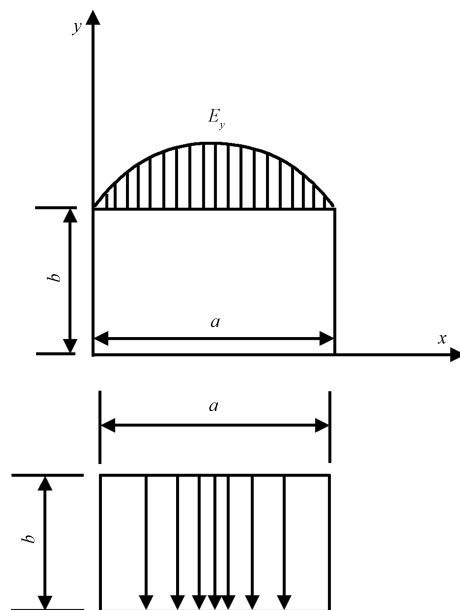
在实用中,矩形波导几乎都以主模 TE_{10} 模为主模的形式工作,因此在实际应用中一般只考虑 TE_{10} 模的传播^[4]。其截止频率和截止波长分别为:

$$f_{cTE_{10}} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\epsilon}}, \lambda_{cTE_{10}} = 2a \quad (3)$$

从以上公式可以看出,矩形波导中 TE_{10} 模的截止频率和截止波长只与波导内壁长边 a 有关,与窄边 b 无关,因此只要保持长边 a 不变,窄边 b 的变化不会影响波导中主模 TE_{10} 模的传输^[5]。因此,可以将标准矩形波导渐变为一个宽边相同,窄边较短的过渡波导后再与微带线相接,这样可以使电场在矩形波导内更加集中,更利于从中馈出电场能量^[6]。

矩形波导中 TE_{10} 模的电场在矩形波导横截面上分布如图 2 所示。由图 2 可知矩形波导内 TE_{10} 模电场传播方向是由矩形波导的宽面垂直向窄面传播的^[7]。因此,若在矩形波导的宽面垂直插入一节微带探针并不影响矩形波导内主模 TE_{10} 的电场传播。而矩形波导内的电场在宽面的中心处分布最密,两边逐渐稀疏,因此,为了让电场能量更好的从矩形波导内过渡到微带线上,插

入矩形波导的微带探针应该位于矩形波导的宽面中心位置处^[8]。

图2 矩形波导横截面内 TE_{10} 模电场分布

本振信号输入端口为标准 3 mm 矩形波导,渐变为一个合适的过渡波导后与一个悬带线相接, $50\ \Omega$ 的悬带线从矩形波导的中间穿入^[9],悬带线离过渡波导边沿的距离为 $\lambda/4$,这样可以使从波导边沿短路面反射回来的微波信号最大的加在悬带线上。在悬带线的一段是一个低通滤波器(截止频率为 70 GHz,主要作用是抑制本振信号向中频输出端泄露),可以作为一个反射面将本振信号 LO 反射到另一面输入,在实际设计的混频器中的作用是中频滤波器。如图 3 所示。

将以上设计的结构在 HFSS 软件里建模,并进行优化、仿真。主要是针对过渡波导的窄边宽度 b 和悬带线腔体横截面的长和宽进行优化仿真。悬带线的基片材料选用是 0.127 mm 厚的石英。设本振输入端为端口 1,结混频二极管的一端为端口 2,中频输出端为端口 3,仿真结果如图 4 所示。

由仿真结果可以看出,设计出的结构在 75~105 GHz 本振频率段上能使本振信号良好的传输到 2 端口,即接入混频二极管的端口,但不会从中频输出端 3 端口泄露出去。混频后产生的中频信号可以很好的从 2 端口传输到中频输出端 3 端口。

1.2 射频输入端的设计

射频信号是由 3 mm 标准矩形波导输入,过渡为单面对称鳍线后加载到二极管对的两端,因此需要设计出一个传输性能良好的单面对称鳍线^[10]。这样才能使射频信号更好的加载到混频二极管对上,有利于变频损耗的减小。单面对称鳍线的结构如图 5 所示。

本设计中鳍线的渐变线采用指数渐变的方式: $y =$

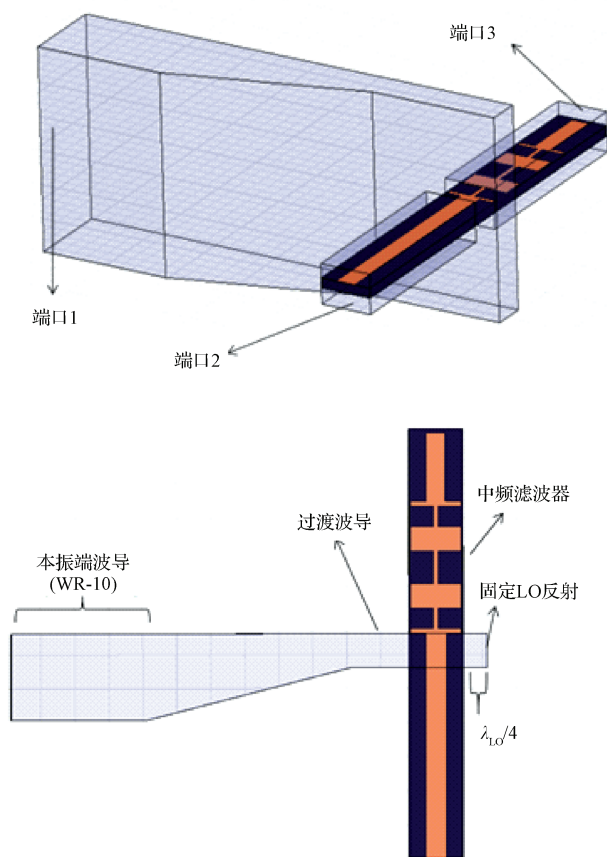


图3 本振、中频通路的结构侧视图和俯视图

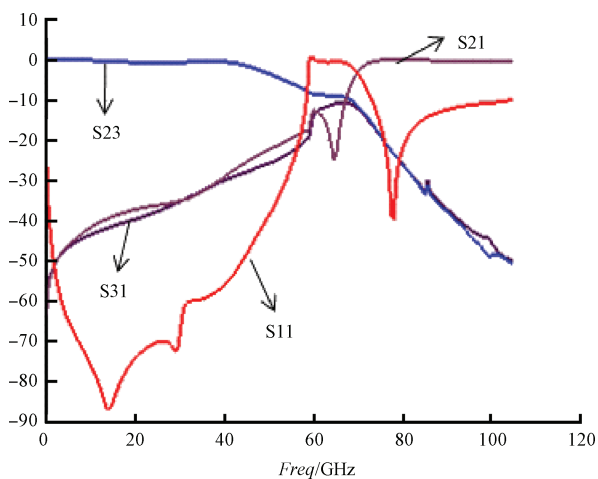


图4 本振、中频通路的仿真结果

ae^{bx} 。鳍线的传输特性及阻抗与其长度、缝宽有很大的关系。综合以上因素及加工工艺限制,设计出了长度为4 mm,缝宽为0.12 mm的单面对称鳍线,基板同样是用厚度为0.127 mm的石英基片,其传输特性如图6所示。

由以上仿真结果可以看出,设计出的单面对称鳍线在75~105 GHz的工作频段上具有良好的传输特性和回波



图5 单面对称鳍线

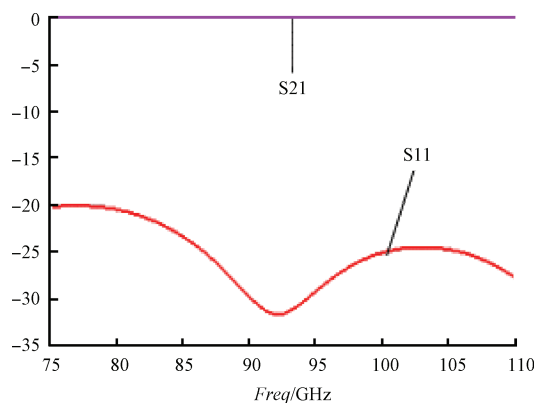


图6 单面对称鳍线的传输特性

损耗,能使输入的射频信号很好的加载到混频二极管对上。

2 仿真结果

对设计出的混频器的变频损耗进行仿真验证,当输入的射频频率为75~105 GHz,功率为-10 dBm,施加的本振信号功率为15 dBm,中频输出为1 GHz时,得到变频损耗随射频频率的变化曲线如图7所示。

由仿真结果可以看出,所设计的混频器在75~105 GHz的工作频段上,其变频损耗优于12 dBm,且平坦度十分良好。

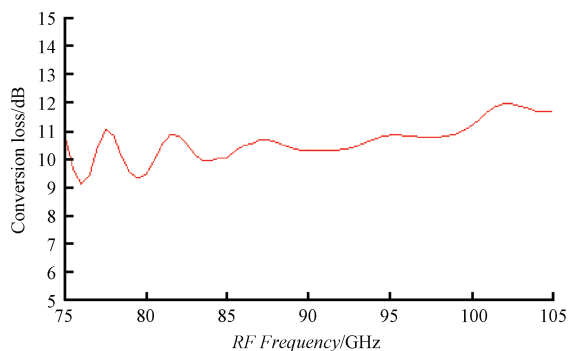


图7 混频器的变频损耗仿真结果

同样,在75~105 GHz的工作频段上对混频器的隔离度进行仿真,设本振端为端口1,射频输入端为端口2,中频输出端为端口3,得到其隔离度的仿真结果如图8所示。

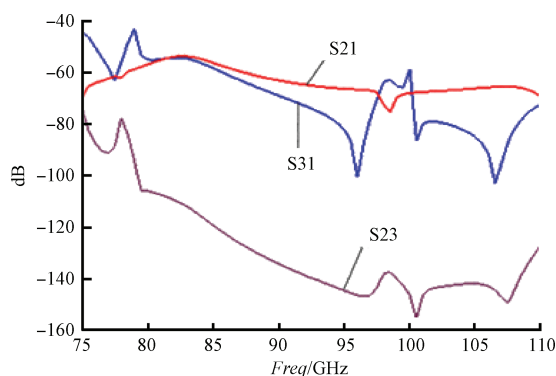


图8 混频器的隔离度

由图8可以看出,设计出的混频器在75~105 GHz的工作频段内3个端口之间的隔离度十分良好。由于鳍线上的电场传播方向和悬置微带线的传播方向相互正交,因此射频信号不能从后面的悬置微带线上泄露出去,因此加大了射频端口和其他两个端口的隔离度;而中频端前面的低通滤波器的引入又充分抑制了本振信号向中频端口的泄露,提高了本振端和中频端的隔离度。

3 结 论

本文设计出了一种结构新颖的标准波导到悬置微带线的过渡结构,与一个低通滤波器构成了混频器的本振、中频通路,并和射频输入的鳍线结构形成了一个180°混合结平衡混频电路。最后经仿真验证,所设计出的混频器在75~105 GHz的工作频段上具有十分优良的变频损耗和隔离度,可适用于各类微波接收系统。

参 考 文 献

[1] 张路,高玉良,翁呈祥.基于ADS仿真的微波混频器设计与仿真[J].电子测试,2011(8):65-68.

[2] 赵伟,张勇,詹铭周.W波段单平衡混频器的设计[J].微波学报,2010(S1):343-346.
[3] 安大伟,于伟华,吕昕.基于石英基片的二毫米波段二次谐波混频器设计和研制[J].红外与毫米波学报,2011,30(1):35-39.
[4] 胡澹,国云川,徐锐敏.Ka波段基波镜像抑制混频器无源电路的设计[J].微波学报,2010(增刊1):299-301.
[5] 姚常飞,徐金平,陈墨等.X波段低变频损耗混频器设计[J].固体电子学研究与进展,2009,29(2):226-230.
[6] 胡友德,黄世震,林伟.测量接收机中的混频器设计[J].国外电子测量技术,2007,26(3):60-62.
[7] 张娜.矢量网络分析仪在混频器器件测试中的应用[J].国外电子测量技术,2006,25(10):11-13.
[8] 朱伟,韩晓东.矢量网络分析仪中的电子校准技术[J].国外电子测量技术,2010,29(8):26-28.
[9] 刘祖深.微波毫米波测试仪器技术的新进展[J].电子测量与仪器学报,2009,23(3):1-8.
[10] 黄志芳,罗宏伟.基于频谱仪和矢网的混频器变频损耗测量技术[J].电子测量技术,2015,38(11):85-87.

作 者 简 介

赵颖,助理工程师,硕士,主要研究方向为元器件质量与可靠性。

E-mail:wlovetoc@qq.com

宋翔,工程师,硕士,主要研究方向为微波器件质量与可靠性。

E-mail:308706410@qq.com