

Ka频段微带四次谐波混频器*

赵霞** 徐军 薛良金

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】介绍了一种Ka频段的微带四次谐波混频器的混频原理和设计方法。该混频器主要由波导-微带过渡, 输入、输出滤波器以及匹配网络和反向并联混频二极管对组成。根据计算机辅助设计软件的仿真结果, 在介电常数为2.22, 厚度为0.254 mm的RF-Duroid 5880介质基片上制作了电路。当射频频率为34.2~35.2 GHz, 本振频率为8.525~8.775 GHz, 中频频率为100 MHz时, 测得的变频损耗小于10.5 dB, 其中最佳值为8.5 dB。

关键词 Ka频段; 微带集成电路; 谐波混频器; 变频损耗; 反向并联混频二极管对
中图分类号 TN773 **文献标识码** A

Ka Band Microstrip 4th Harmonic Mixer

Zhao Xia Xu Jun Xue Liangjin

(College of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract This paper introduces the mixed theory and design method of a microstrip 4th harmonic mixer worked at Ka band. The mixer mainly consists of a waveguide-to-microstrip transition, input and output filters, matching networks and an antiparallel diode pair. According to the simulation result of computer aided design software, the integrated circuit is fabricated using RF-Duroid 5880 with 0.254 mm thick and dielectric constant ϵ_r of 2.22. The conversion loss of 8.5 dB to 10.5 dB is achieved with the IF fixed at 100 MHz, the RF ranged from 34.2 GHz to 35.2 GHz and the LO ranged from 8.525 GHz to 8.775 GHz in measurement.

Key words Ka band; microstrip integrated circuit; harmonic mixer; conversion loss; antiparallel diode pair

毫米波混频器是毫米波通信、雷达、电子对抗等系统中及很多毫米波测量设备中不可缺少的关键部件, 其功能是将微弱的毫米波信号变换为易于处理的中频输出信号。对它的主要要求是变频损耗小和噪声低。

毫米波频段工作频率很高, 虽有性能优越的混频器件, 但同频段高性能的本振源实现难, 成本高。分谐波混频器要求的本振频率为工作频率(基波频率)的1/2或1/4, 从而克服了直接采用毫米波本振源带来的困难, 降低了射频接收机的技术难度, 减少了系统成本。因此, 分谐波混频器在毫米波系统领域有着广泛的应用价值。

本文介绍一种工作在Ka频段的集成四次谐波混频器。电路采用微带结构, 它具有设计简单, 制作容易, 体积小, 质量轻, 安装方便等诸多优点。电路性能的改进可通过技术设计, 并考虑重要闲频信号的回收而获得。

1 分谐波混频的基本原理

分谐波混频器至少需用两个混频二极管, 并且将两个混频二极管反极性相并联, 组成一个混频二极管

2002年7月26日收稿

* 国防科技重点实验室基金资助项目

** 女 24岁 硕士生 主要从事毫米波电路方面的研究

对才能完成分谐波混频。分谐波混频法主要是利用混频管的非线性特性直接实现本振的 $n(n=2, 4)$ 次谐波与射频信号混频, 然后通过输出滤波器选出所需信号。分谐波混频器原理电路如图1所示。

首先考虑在管对上只加大信号本振的情况。由于两个混频管的基波电流反相, 则通过两个二极管的总电流 $i = i_1 + i_2$ 是奇函数, 其傅里叶展开式中不含偶次项; 混频电导 $g = di / dv$ 是偶函数, 其傅里叶展开式中没有奇次项。然后在已加本振的混频管对上, 再加一个小的信号, 混频电流展开式中将出现 $2\omega_{LO} \pm \omega_S, 4\omega_{LO} \pm \omega_S, \dots$ 等谐波分量。因此归纳出如下管对混频特性^[1]:

- 1) 外部电流只含有偶次本振谐波混频项, 而且幅度比单管的增大一倍。
- 2) 奇次本振谐波混频项仅存在于管对环路内部, 因此电路中的输出干扰频率减少, 从而可减小变频损耗。
- 3) 外部电流中无直流量, 因此对管对来说, 混频器无需设置直流通路。这样可使电路结构简化。
- 4) 减少噪声。这是因为混频时, 根本没有基波混频输出, 因此本振引入噪声仅在 $2\omega_{LO} \pm \omega_{IF}$ (ω_{IF} 为中频频率) 附近的噪声才会经混频而输出, 此部分噪声已大大减弱了。

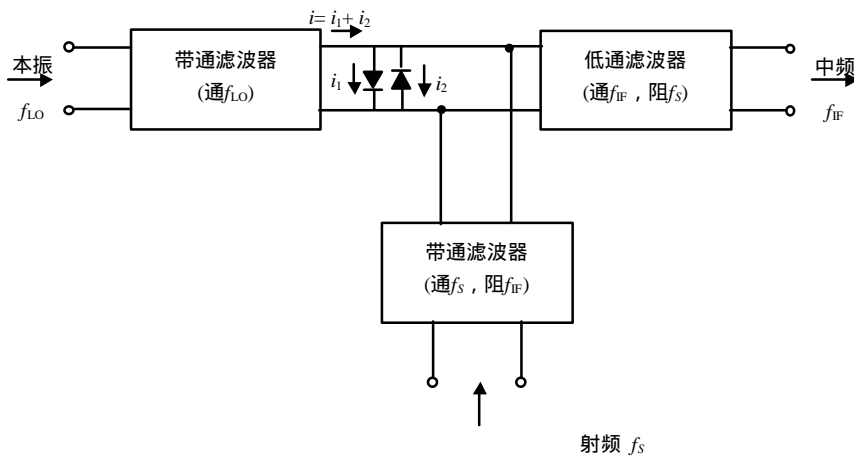


图1 分谐波混频器原理电路图

2 分谐波混频器的设计方法

毫米波微带分谐波混频器电路结构如图2所示。它主要由波导-微带过渡、射频带通滤波器、中频低通滤波器、开路、短路电路终端以及反向并联混频二极管对等组成 (l_2 为二次谐波波长)。

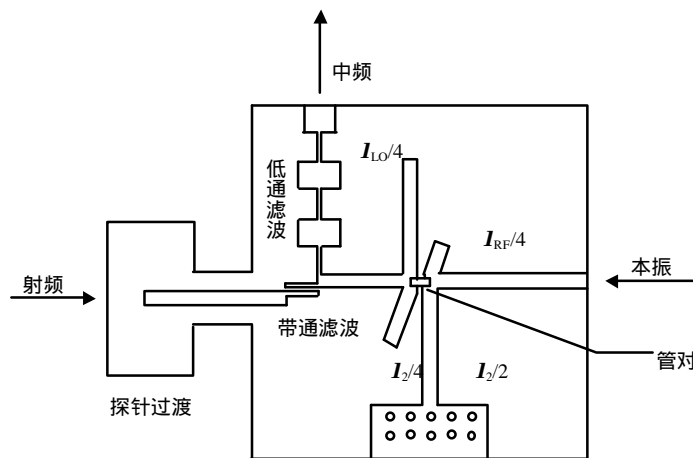


图2 分谐波混频器电路结构

2.1 波导-微带过渡

毫米波混频组件与系统其他部分的连接通常采用波导。测量系统一般也采用波导接头。因此, 应选择合适的波导-微带过渡。目前, 常用的毫米波波导-微带过渡有: 波导-鳍线-微带过渡、波导-渐变脊波导-

微带过渡、E面探针过渡等。对过渡装置的基本要求：1) 低传输损耗和高反射损耗；2) 有足够的频带宽度；3) 便于设计加工。考虑到探针过渡具有插入损耗低，回波损耗小，具有较大频宽，结构紧凑，加工方便，装卸容易等优点，因此选用了这种结构。

射频输入端的波导-微带探针型过渡是将射频信号经与波导E面平行的微带线施加到混频管对上。选择微带线的位置在波导 TE_{10} 模电场的最大位置处，射频信号通过调节一短路活塞较好地耦合到微带线上。本设计中用基于有限元法的电磁仿真软件HP-HFSS可计算微带探针的长度、波导短路面的位置等。以文献[2]中给出的数据为初始值，采用计算机仿真的方法验证了数据的可靠性。

2.2 分谐波混频器

设计谐波混频器的关键在于如何对三种频率进行匹配，合适地利用或抑制空闲频率^[3]，提高变频效率。如RF端口对输入信号匹配，对LO、IF和其他频率失配，这样既提高LO-RF和IF-RF隔离，也使输入信号能够尽可能在管对中参与混频，提高变频效率，其他两个端口的情况与此类似。选用Agilent公司的ADS软件，利用它的谐波平衡法仿真和优化非线性电路的功能，对混频器进行非线性模拟、仿真，并计算激励电平、变频损耗等，进而确定匹配网络参数并计算微带结构尺寸。

谐波平衡法包括四个基本步骤：1) 提取肖特基管非线性模型；2) 确定不同本振激励电平时变换矩阵 S 参数值；3) 确定同时实现阻抗匹配及最小变频损耗的最佳嵌入网络阻抗值；4) 综合匹配网络。

仿真时，先根据厂商提供的产品参数建立器件模型。取本振高次谐波嵌入阻抗为短路，根据混频管整流电流确定合适的本振激励电平。在此电平激励下，先通过谐波平衡法对二极管及介入网络进行分析，将二极管的结电导和结电容随时间变化的波形确定下来。再用这些波形求出表示时变电导和时变电容的变换矩阵表达式，接着进行小信号分析。确定在频率为 ω_s 的本振激励下，二极管的小信号阻抗，从而可根据计算出的器件阻抗设计匹配电路。最后代入实际嵌入阻抗值，重新计算变频损耗等指标。

3 四次谐波混频器的仿真和测试结果

在介电常数为2.22，厚度为0.254 mm的RF-Duroid 5880介质基片上制作电路。混频二极管对采用了Alpha公司的DMK2308-000，射频输入端为标准矩形波导，本振输入端和中频输出端均用SMA接头。用微波设计软件ADS对电路进行局部和整体优化。在本振功率为7 dBm、中频频率为100 MHz时，仿真和测试结果分别如图3和图4所示。

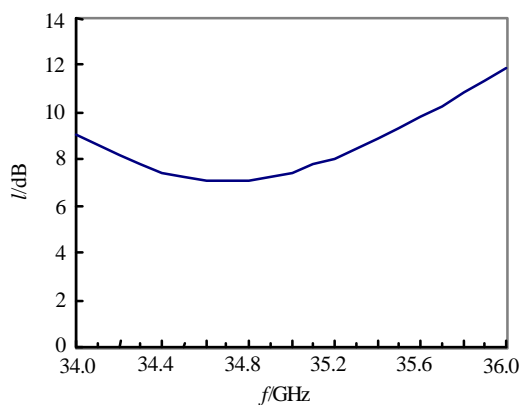


图3 仿真结果

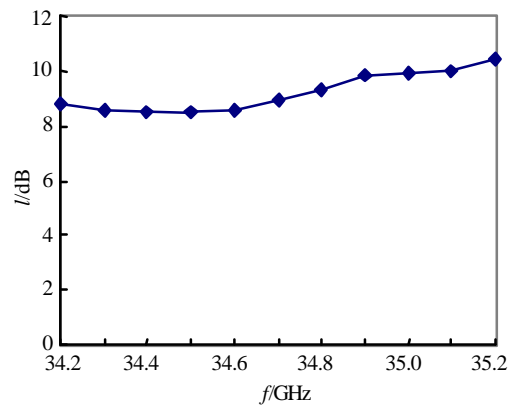


图4 测试结果

由测试结果得知，当射频在34.2~35.2 GHz变动，本振在8.525~8.775 GHz变动，中频固定在100 MHz时，得到的最小变频损耗为8.5 dB。在此实验中，还测得本振口到中频口的隔离度优于20 dB，本振口到射频口的隔离度优于28 dB。

从以上仿真和测试结果比较可以看出，当射频频率在34.2~35.2 GHz范围内变动时，仿真结果比测试结果要好一些。这是因为仿真时既没有计入波导-微带过渡的插损也没有考虑SMA转换接头的影响。

4 结束语

本文的实际制作选用了合适的介质材料、混频管对和电路拓扑结构,通过ADS软件的仿真和优化,得到了一种性能良好的四次谐波混频器。在射频频率为34.5 GHz,本振功率为7 dBm,中频频率为100 MHz时,测得的变频损耗为8.5 dB。此性能指标已达到了国外同类产品的水平。该混频器为更高频段微波变频通道的设计提供了一种有益的设计思路,使得系统结构简单,工作稳定,造价较低。

参 考 文 献

- 1 Marvin C, James E D, Burton A N. Harmonic mixing with an antiparallel diode pair[J]. IEEE MTT, 1975, 23(8): 667-673
- 2 Yi C S, Thuy N T, Long Q B. Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter-wave applications[C]. IEEE MTT-S Digest, 1988, 473-475
- 3 Asher M. A novel general approach for the optimum design of microwave and millimeter wave subharmonic mixers[J]. IEEE MTT, 1996, 44(11): 1 997-2 000

编 辑 刘文珍

· 成果与专利 ·

用于高速电导调制功率器件的隧道结键合单晶衬底

用于高速电导调制功率器件的隧道结键合单晶衬底是采用含有隧道结直接键合(TJB)单晶衬底代替了以往的异性高阴硅厚外延片,并给出了TJB层的设计规则。在本发明提供的TJB单晶衬底上采用常规的电导调制功率器件制作工艺,就可制得各种相对应的高速全耐压范围的电导调制功率器件和高速智能功率集成电路。这不仅使器件速度提高,且使工艺简单、制作容易、成本低廉。

恒频零电压边沿谐振开关变换器

恒频零电压边沿谐振开关变换器提出了一种恒频零电压边沿谐振开关(CF—ZVERS)变换器,它由输入直流电源、传能电感、续流二极管、CF—ZVERS、输出滤波器及负载组成,其中CF—ZVERS是由主开关和辅开关复合组成的三端网络,用该开关替代经典开关功率变换器中的功率开关即可组成升压式、降压式、升降压式、单端反激式、单端正激式和CuK或CF—CVERS变换器。该发明采用恒频PWM控制方式,其主、辅开关均为零电压开关。

· 文 争 ·