

Ka频段高中频四次谐波混频器

梁亮, 徐军, 薛良金

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】介绍了谐波混频器的混频原理和设计方法,应用高频场仿真软件及谐波平衡计算软件,研究并实际制作了带有一维光子带隙结构的Ka频段微带全集成高中频四次谐波混频器。实验测得:固定中频频率为3 GHz,射频频率在34~35.8 GHz的频带内变化时,变频损耗小于14.5 dB,最小变频损耗为11 dB。表明这种高中频谐波混频电路的设计方案切实可行。

关键词 谐波混频; 高中频; Ka波段; 光子带隙结构

中图分类号 TN773.2

文献标识码 A

A Ka-Band High IF Frequency 4th Harmonic Mixer

LIANG Liang, XU Jun, XUE Liang-jin

(School of Physical Electronics, UEST of China Chendu 610054)

Abstract This paper gives the particular description of a theoretical analysis and practical design for high IF frequency millimeter-wave subharmonic mixer with three one-dimensional photonic bandgap (PBG) cells. Base on computer aided design, a Ka-band 4th harmonic mixer has been designed and tested. When IF frequency is 3 GHz, and RF frequency varied from 34~35.8 GHz, the conversion loss is less than 14.5 dB and the least is 11 dB. The results of simulation and test show that the formulas are correct and the scheme is practicable.

Key words harmonic mixer; high if frequency; Ka band; photonic bandgap

混频器是微波毫米波接收系统中的关键部件。当系统使用频率进入毫米波频段后,对应的基波混频器的本振源制作难度较大,成本较高。从降低成本、利用现有成熟技术的角度考虑,采用谐波混频可以降低本振的工作频率,而且可得到相当于基波平衡混频器的噪声性能,在毫米波频段被广泛应用。

对于超外差接收机而言,对镜像频率的抑制是个重要的技术指标。抑制镜像频率一般多采用几种方式:采用镜像抑制滤波器;镜像抑制混频器;在混频器之前采用低噪声放大器,使镜像频率处于增益足够低的地方,达到相当于镜像抑制滤波器相同的作用。在采用镜像抑制滤波器的情况下,当中频频率较低,即信号频率和镜像频率相差不远,镜像抑制滤波器是个窄带的滤波器,为了不影响信频,往往对镜频的衰减不宜做得很大。此时,可以提高系统的中频频率。高中频经放大后,需要再次变频成信道频率,即采用二次变频的方案。因此制作高中频的谐波混频有着重要的实际意义。

1 谐波混频原理

毫米波频段的混频器大都使用肖特基二极管,其具有噪声小,带宽大,工作稳定,结构简单,截止频

率高等特点。通过把两只肖特基二极管反向并联,可以得到良好的谐波混频特性。对二极管对的混频性能分析如下:

1) 管对具有:通过压制部分混频产物减小变频损耗,压制本振噪声通带降低噪声系数和固有的抗反向峰值电压能力的重要特点^[1]。容易推出管对的跨导为:

$$g = g_1 + g_2 = 2\alpha i_s (e^{\alpha v} + e^{-\alpha v}) = 2\alpha i_s \cosh(\alpha v) \quad (1)$$

式中 g 表示管对跨导; g_1 ; g_2 分别为单二极管的时变电导; i_s 为二极管反侧饱和电流。

在忽略交叉调制的情况下,此时变电导仅由 V_{LO} 调制。故有:

$$g = 2\alpha i_s [I_0(\alpha v_{LO}) + 2I_2(\alpha v_{LO}) \cos 2\omega_{LO}t + 2I_4(\alpha v_{LO}) \cos 4\omega_{LO}t + \dots] \quad (2)$$

2) 混频产物为:

$$i = a_1 \cos \omega_{LO}t + a_2 \cos \omega_s t + a_3 \cos 3\omega_{LO}t + a_4 \cos(2\omega_{LO} + \omega_s)t + a_5 \cos(2\omega_{LO} - \omega_s) + \dots \quad (3)$$

式中 v_{LO} 为本振电压; ω_{LO} 为本振信号的角频率; ω_s 为射频信号频率。

显然,混频产物中只包含本振频率的偶次谐波与射频信号的混频产物,本振频率的奇次谐波分量及其他频率分量由于反相而抵消。因此,只有本振的偶次谐波可以用来获得所希望的中频频率,四次谐波混频器即利用本振信号的四次谐波参与混频。妥善识别混频器中的主要闲频信号,并设计出阻止其产生功率损耗的混频电路是提高混频器性能的关键。

谐波混频电路一般由以下两部分组成:1) 射频中频匹配网络,用来引入射频,完成对射频信号对于二极管的匹配,同时输出中频,保证射频信号、本振信号和中频信号的隔离;2) 本振匹配网络,引入本振信号,完成本振信号对于二极管的匹配,回收主要闲频,使之重新参与混频,输出中频信号,使二次混频的中频信号和一次混频的中频信号同相,从而减小混频器的变频损耗,提高混频器的性能。

2 混频器的结构和设计

本文的设计目标为Ka波段的四次谐波混频器,射频频率范围为34~36 GHz,固定中频频率为3 GHz,因此相应的本振频率为7.75~8.25 GHz。利用高频场仿真软件及谐波平衡仿真软件,通过仔细设计,得到了如图1所示的电路结构。

射频中频匹配网络由平行耦合带通滤波器、低通滤波器(这里采用一个在本振频率处谐振的一维光子带隙(Photonic BandGap, PBG)结构来构成低通滤波器^[2],兼顾了低通和对本振频率的抑制)和两个开路支节(长度分别为1/4本振波长和在频率为 $f_{RF} - 2f_{LO}$ 上的四分之一波长,用以反射本振和闲频 $f_{RF} - 2f_{LO}$)构成;本振匹配网络由两个PBG(分别在射频频率和闲频 $f_{RF} - 2f_{LO}$ 处给出一个特定的反射波相位,形成带阻,用以反射射频和闲频 $f_{RF} - 2f_{LO}$)和一对对中频提供接地的扇形构成,接地扇形通过两段高阻线接入,使之对高频的影响最小。

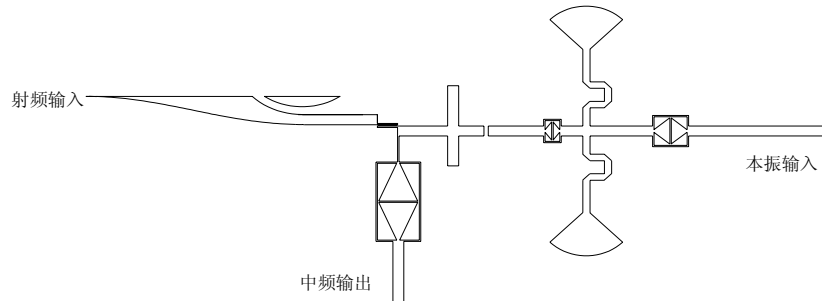


图1 混频器结构(微带正面电路)

电路结构中用到了三个PBG结构,两个用作射频和主要闲频的反射;一个用作中频端口的低通滤波器。与普通四分之一波长的开路线相比,PBG结构具有以下特点:带阻和慢波特性的^[3]。在电路中给出某个频率上特定的反射波相位,使之满足一个合理的相位条件,达到带阻的作用,从而降低整个电路的变频损耗;慢波特性的PBG结构相位变化较慢,带宽较宽,受加工误差的影响较小,容易控制。

具体设计时,首先通过厂商提供的产品参数建立肖特基管的非线性模型。带通滤波器、四分之一波长的开路支节、PBG结构以及扇形接地块用高频场仿真软件Ensemble进行计算,将得到的S参数文件导入谐波平衡仿真工具,作为非线性负载。将高频场仿真和电路仿真软件相结合,避免了使用电路仿真工具中所用的微带模型不准确带来的计算可信度的问题,而且解决了某些复杂结构无法通过电路仿真工具中所用微带不连续性部件准确搭建的问题。在匹配网络中,两个PBG结构和扇形接地位置的不同,对于射频、主要闲频的反射以及镜像频率的回收就有一定的不同,需要仔细设计。为了减小整个电路的面积,将高阻线折弯。通过反复的修改和优化,得到了较好的仿真结果。

3 混频器的技术指标

整个电路制作在基片厚度为0.254 mm的Duriod5880基片上,反向并联管对为Alpha公司的DMK2308。测试时,射频信号由HP8350B提供,经过精密衰减器后,功率为-20 dBm。本振信号由Agilent E8247C信号源提供。中频信号由HP8562A频谱仪输出。射频输入口的回波损耗由AV3611标量网络分析仪测得。经测试,最佳本振激励功率为9 dBm。仿真和测试结果如图2所示。

测试结果和仿真结果相比,有一定的差距。测试得出的最小变频损耗比仿真结果要小2 dB。射频频率从34~35.8 GHz,变频损耗都小于14.5 dB,可见电路具有很宽的射频工作带宽。但是整体上看,实测变频损耗值有较大的波动。主要原因,1) 是由射频输入端口匹配不好造成的(射频输入端口的回波损耗如图3所示);2) 是由于加工误差,使电路结构中的频率敏感部分,如四分之一波长的开路支节、扇形接地结构的性能有所下降。但总的来说,上述仿真设计过程切实可行。

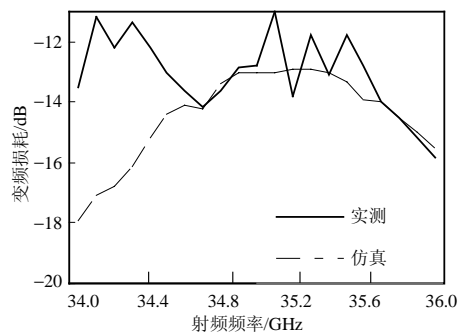


图2 仿真及测试结果

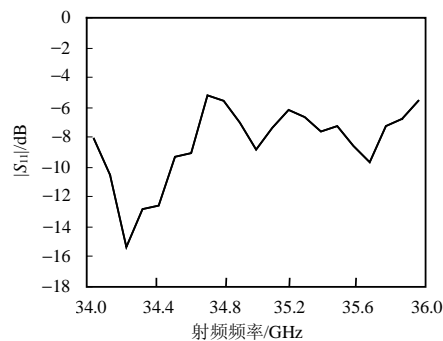


图3 射频输入口的回波损耗

4 结论

本文设计的谐波混频器仿真和测试结果相差不大,得到了11 dB的最小变频损耗;其中使用的一维PBG结构显示了良好的带阻性能,达到了减小变频损耗的目的。该混频器体积小、重量轻,便于调试,可重复制作,成本较低。该设计理论方案可以应用于更高的频段,有效地降低本振的工作频率。

参 考 文 献

- [1] 黄香馥. 微波固态电路[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1990
- [2] 喻梦霞, 徐 军, 周 密. 一种高性能一维电磁结构及其神经网络建模[J]. 电波科学学报, 2004, 19(增):99-101
- [3] Xue Q, Shum K M, Chan C H. Novel 1-D microstrip PBG cell[J]. Microwave and Guided Wave Letters, 2000, 10: 403 - 405