

文章编号:1001-9014(2006)02-0147-03

一种使用一维电磁带隙结构的高性能 Ka 频段四次谐波混频器

周密, 徐军, 罗慎独, 薛良金
(电子科技大学 物理电子学院, 成都 610054)

摘要:介绍了一种全集成微带四次谐波混频器,该混频器采用了一种新型电磁带隙结构,可获得很低的变频损耗指标. 阐述了一般的谐波混频理论,并用谐波平衡软件对整个电路进行优化仿真. 实测得到射频在 34~36GHz 的频带内,固定中频为 100MHz,该混频器最小变频损耗 7.67dB,最大变频损耗 < 10dB.

关键词:谐波混频;电磁带隙结构;反向并联二极管对
中图分类号:TN252 **文献标识码:**A

Ka-BAND FOURTH HARMONIC MIXER WITH 1-D EBG STRUCTURE

ZHOU Mi, XU Jun, LUO Sheng-Du, XUE Liang-Jin
(Physical electronic Institute, UESTC, Chengdu 610054, China)

Abstract:A integrated Ka band fourth harmonic mixer with very low conversion loss using a novel 1-D EBG structure was presented. General harmonic mixer theory, and extensive simulation and optimization by compact harmonic balance circuits design software were introduced. The mixer yields the least conversion loss of 7.67dB and the loss is less than 10dB in the whole band, of 34~36GHz RF.

Key words:harmonic mixer; EBG structure; anti-pair diodes

引言

毫米波收发系统的本振源是一个昂贵且难以保证稳定质量的部件,为了降低本振设计制作的难度和成本,采用谐波混频器的电路方案,可以降低所使用的本振频率,同时还可以大大增加本振-中频之间的隔离度. 由于谐波混频器具有以上的优点,目前对谐波混频技术的研究成为人们关注的重点之一.

由于谐波混频器靠本振谐波激励,一般来说谐波混频的变频损耗比基波混频大一些,对毫米波接收系统而言,变频部分的损耗对噪声影响比较大,所以减小谐波混频器变频损耗是提高整机性能的关键. 目前减小谐波混频变频损耗的主要技术是谐波回收,传统的办法是使用 $\lambda/4$ 开路短路线,采用微带谐振结构来实现这个功能从而实现极低变频损耗的谐波混频器也有报道^[1]. 本文采用了一种新型

EBG 结构来实现谐波回收,明显的提高了效率,从而大大降低了变频损耗,达到的结果甚至优于普通的基波混频器.

1 谐波混频原理简介

通过把 2 只 schottky 二极管反向并联,可以得到良好的谐波混频特性,对管二极管对的混频性能分析如下:管对具有下列重要特点:通过压制部分混频产物减小变频损耗,压制 LO 噪声通带降低噪声系数,固有的抗反向峰值电压能力. 容易推出管对的跨导为

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

在忽略交叉调制的情况下时变电导仅由 V_{LO} 调制,有: $g = 2\alpha i_s [I_0(\alpha v_{lo}) + 2I_2(\alpha v_{lo}) \cos \omega_{lo} t + 2I_4(\alpha v_{lo}) \cos \omega_{lo} t + \dots]$

混频产物为

收稿日期:2005-03-27,修回日期:2005-10-24

基金项目:国防重点实验室基金(51437050103DZ02)资助项目

作者简介:周密(1980-),男,四川峨边人,硕士,主要研究方向为微波与毫米波有源电路与系统.

Received date: 2005-03-27, revised date: 2005-10-24

$$i = a_0 \cos \omega_{l_0} t + a_2 \cos \omega_s t + a_3 \cos \omega_{l_0} t + a_4 \cos (2\omega_{l_0} + \omega_s) t + a_5 \cos (2\omega_{l_0} - \omega_s) t + \dots$$

显然,本振的各次谐波的上下中频边带都可以通过非线性电导的作用转换到中频边带,但是由于这些分量的相位不同,它们可能互相叠加,也可能互相削弱.一个好的设计正是要使一些幅度较大的中频边带,比如二次谐波附近的中频边带,变换到我们需要的中频上并且同相叠加,那么就可以得到较低的变频损耗.我们的设计也是基于这种思想,通过使用 EBG 结构,把携带较多信号能量的边带反射回二极管,使之变换到 100MHz 中频信号输出.

2 EBG 结构简介

为了实现谐波回收,我们需要使用具有相应带阻特性的电路结构,近年来广泛研究的一维 EBG 结构就具有这样的特性.本文使用的一维 EBG 电路结构形状如图 1 所示.

显然其可以等效为一个电容和电感并联网路,频响特性呈现带阻滤波器特性.相比普通的开路线谐振器,它具有几个特点:

谐振点周期性不明显,即在谐振点奇次倍频率上没有明显的寄生阻带.

相位变化比较缓慢.在强非线性电路中这个特点可以使得某个频率上特定的反射波相位受加工误差的影响较小,从而保证回收的谐波产生的中频信号同相叠加.这是传统的 1/4 波长线所不具备的性质,在工程上有很大的实用价值.

阻带较宽,这也使得电路受加工误差的影响减小,电路成品率容易控制.

按传统的办法可以用微带不连续性模型来建立其模型,但是这个结构的细节之间的互藕使得这种办法的精度较低.我们使用了对其进行有限次全波分析采样,再用神经网络拟和的办法,得到了比较精确的模型^[2].通过精确的设计,我们得到了具有预计阻带特性的 3 个 CMRC 结构.

3 谐波混频器电路设计

整个电路做在 0.254mm 厚的 5 880 基片上,采

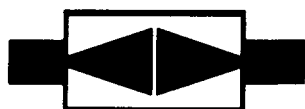


图 1 EBG 结构示意图

Fig. 1 Schematic of a EBG structure

用微带电路形式.结构如图 2,射频信号经波导-鳍线-微带过渡加到二极管上,二极管周围两个枝节用来匹配本振和射频,为中频信号接地,以及回收闲频信号.其中枝节 A 长度约为 $\lambda_{LO}/4$ 为本振信号提供接地回路, B 长度约为 $\lambda_{LO}/2$, EBG 结构 C 用来反射 RF 信号, EBG 结构 D 用来反射 $2f_{LO} \pm f_{IF}$ 分量,这 2 个 EBG 结构对本振信号的损耗应该尽可能小,以免提高本振激励功率要求,增加本振源设计难度.由于 EBG 在其阻带以下频率呈现低通特性,这一点很容易做到.在谐波混频器的应用中,本振的泄漏是个很严重的问题,在这里我们没有采用普通的高低阻抗线低通滤波器,而是利用 CMRC 结构的低通和带阻特性,设计了一个阻带刚好在本振频率附近的 CMRC 结构来做低通滤波器使用,实测结果表明它使本振-中频隔离度达到 40dB 以上,很好的解决了本振的泄漏问题.

4 试验实测结果及分析

试验测试系统如下:由 HP8350B 频率源输出 Ka 频段射频信号,经 20dB 衰减器馈入混频器波导输入端;8.75GHz 本振信号由 Agilent E8247C 提供,通过 SMA 接头馈入;输出 100MHz 中频信号由 HP8562A 频谱仪读数.

测试与仿真数据对比如图 3.从测试和仿真结果可以看到,测试结果的峰值和仿真结果大致吻合,得到的变频损耗小于 10dB 的可用带宽在 2GHz 左右.最小变频损耗为 7.67dB,而目前常用的 Alpha 公司的同频段基波混频器单片的变频损耗是 9dB 左右.

5 结语

本文设计的谐波混频器仿真结果与试验测试值显示了较好的一致性,得到了中频输出最小变频损耗 7.67dB,射频信号从 34GHz 到 36GHz 范围内变频损耗小于 10dB.混频器中使用的 1-D EBG 结构显示了良好的带阻性能,达到了减小变频损耗的目的.

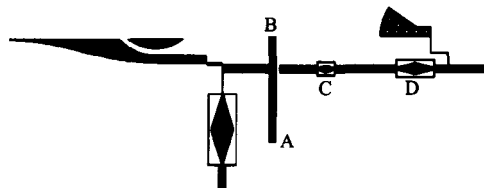


图 2 混频器电路图

Fig. 2 Schematic of the mixer circuit

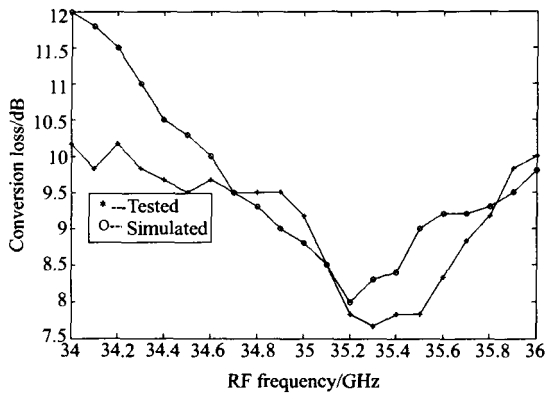


图3 变频损耗测试数据和仿真数据对比

Fig. 3 Comparison of conversion loss tested and simulated

该混频器在带内的性能优于 Alpha 公司的同频段基波混频器单片。

REFERENCES

- [1] Quan Xue, Kam Man Shum, Chi Hou Chan. Low conversion-loss fourth subharmonic mixers incorporating CMRC for millimeter-wave applications [J]. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions*, 2003, **51**(5):1449—1454.
- [2] YU Meng-Xia, XU Jun, ZHOU Mi. Novel 1-D EBG structure and its ANN model [J]. *Chinese Journal of Radio Sci-*

ence (喻梦霞,徐军,周密.新型一维电磁带隙结构及其神经网络建模. *电波科学学报*), 2004, **19**(5),99—101.

- [3] Tsz Yin Yum, Quan Xue, Chi Hou Chan. Novel subharmonically pumped mixer incorporating dual-band stub and in-line SCMRC [J]. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions*, 2003, **51**(12):2538—2547.
- [4] Kawasaki R, Akaike M. A Broad-band second-harmonic mixer covering 76 ~ 106GHz [J]. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions*, 1978, **26**(6):425—427.
- [5] Mazilu T, Talwar A K. A harmonic mixer for the 20 ~ 40GHz range [J]. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions*, 1982, **82**(1):106—107.
- [6] Macpherson A C. An analysis of the diode mixer consisting of nonlinear capacitance and conductance and ohmic spreading resistance [J]. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions*, 1957, **5**(1):43—51.
- [7] De Flaviis F, Rozzi T, Moglie F, et al. Accurate analysis and design of millimeter wave mixers [J]. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions*, 1993, **41**(5):870—873.
- [8] LIU Hai-Wen, LI Zheng-Fan, SUN Xiao-Wei, et al. Novel butterfly shape defected ground structure for microstripline [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (刘海文,李征帆,孙晓玮,等.一种新颖的蝴蝶结形缺陷接地结构微带线. *红外与毫米波学报*), 2004, **23**(6):431—435.
- [9] YUN Xiao-Hua, LIU Yong-Tan, SUN Lin-Lin. Aplanar structure V-band up-converter [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (恽小华,刘永坦,孙琳琳.一种平面结构的V波段上变频器. *红外与毫米波学报*), 2003, **22**(3):237—240.