

文章编号:1001-9014(2006)04-0271-04

低相位噪声毫米波单片压控振荡器的研制

陈继新, 洪伟, 殷晓星, 程峰, 严蘋蘋
(东南大学毫米波国家重点实验室, 江苏南京 210096)

摘要:采用0.18 μm GaAs PHEMT工艺,设计和研制了毫米波压控振荡器.该压控振荡器采用反射式结构,并针对了我国本地多点分配业务(LMDS)频段进行了优化设计,芯片采用OMMIC ED02AH工艺实现,芯片的尺寸为1.2mm \times 0.8mm.实测性能指标为:在28.46GHz,该压控振荡器的输出功率为7.3dBm,偏移1MHz处的相位噪声为-101dBc/Hz,调谐范围为27.5~30.4GHz.

关键词:压控振荡器;砷化镓;毫米波;相位噪声
中图分类号:TN713 **文献标识码:**A

DEVELOPMENT OF MILLIMETER WAVE VCO MMIC WITH LOW PHASE NOISE

CHEN Ji-Xin, HONG Wei, YIN Xiao-Xing, CHENG Feng, YAN Pin-Pin
(State Key Lab. of Millimeter Waves, Dept. of Radio Engineering,
Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract:A millimeter wave voltage-controlled oscillator (VCO) MMIC was designed and fabricated with 0.18 μm GaAs PHEMT process. The VCO employs reflective structure, and is optimized at frequency band of local multipoint distribution service (LMDS) in China. The chip was fabricated with OMMIC ED02AH process. Its the size is 1.2mm \times 0.8mm. The measured output power of the MMIC VCO is 7.3dBm, the phase noise is -101dBc/Hz@1MHz at 28.46GHz, and the tuning range is 27.5~30.4GHz.

Key words:voltage-controlled oscillator; GaAs, millimeter wave; phase noise

引言

随着无线通信技术的快速发展,高速率大容量的数据传输越来越受到重视.本地多点分配业务(LMDS)是一种新型的宽带无线接入技术.它具有传输速率高、业务类型丰富、建设成本低,扩容与迁移方便等优点,因而备受各大通信运营商的关注^[1].在不同国家或地区,电信管理部门分配给本地多点分配业务 LMDS 的具体工作频段及频带宽度有所不同^[1].我国将 24.45~27GHz 频段的部分频率作为 FDD 方式 LMDS 的使用频率(试行)^[2],其中心站发射频段为 24.507~25.515GHz,远端站发射频段为 25.757~26.765GHz,收发频率间隔为 1 250 MHz.

压控振荡器是 LMDS 收发信机的关键部件.在无线通信系统中,系统的稳定度、频谱利用率、接收

机的灵敏度等都和本地振荡器有密切的关系,其性能对系统有重要影响^[2-5].同时这些系统要求小型化、轻量化和高可靠性,因此高集成度的毫米波单片集成电路成为必然的选择.本文采用国际上先进的 0.18 μm GaAs PHEMT 工艺,针对我国试行的 LMDS 频段,研制了毫米波频段的单片压控振荡器(MMIC VCO).

振荡器的形式一般包括反馈式与反射式两种^[3,7].在微波频带,由于高频有源器件加入适当的电容或电感即可产生负阻特性,因此本文选择反射式实现.文中选用 U 型 P-HEMT 管作为有源器件、BE 二极管作为调谐网络的变容二极管,在设计中综合考虑各项性能指标,优化设计了毫米波压控振荡器.该芯片采用 OMMIC ED02AH 工艺实现,芯片的尺寸为 1.2mm \times 0.8mm.实测性能指标为:在 28.46GHz,该压控振荡器的输出功率为 7.3dBm,偏

收稿日期:2005-07-21,修回日期:2006-01-12

Received date: 2005-07-21, revised date: 2006-01-12

基金项目:国家自然科学基金重点(No.90307016)资助项目

作者简介:陈继新(1976-),男,江苏镇江人,东南大学无线电工程系讲师,博士.主要研究方向为微波与毫米波电路设计.

移 1MHz 处的相位噪声为 -101dBc/Hz, 调谐范围为 27.5 ~ 30.4GHz.

1 电路设计

1.1 反射式压控振荡器的原理

如图 1 所示, 反射式振荡器由有源器件、负载网络与终端网络构成, 其中有源器件提供振荡器的能量供应, 负载网络用于选择振荡频率, 终端网络为振荡器输出端之匹配网络. 当有源电路输入端产生负阻时, 即有能量输出供应谐振电路, 产生振荡. 在稳态振荡时, 振荡器满足以下关系^[7]:

$$\Gamma_{in} \cdot \Gamma_L = 1 \quad (1)$$

$$\Gamma_T \cdot \Gamma_{out} = 1 \quad (2)$$

$$Z_{in} = -Z_L, \quad \text{即} \begin{cases} R_{in} = -R_L \\ X_{in} = -X_L \end{cases} \quad (3)$$

其中式(1)和式(2)表示在振荡时, 有源电路的输入输出端口同时发生振荡. 式(3)中, 谐振电路的电阻 R_L 会消耗能量, 其值为正, 所以有源电路的 R_{in} 需要为负阻才能维持谐振器的工作. 振荡器的振荡频率由式 $X_{in} = -X_L$ 决定, 可以通过调整谐振电路和有源电路中的电容、电感值来选择振荡器的振荡频率.

1.2 相位噪声分析

相位噪声是振荡器非常重要的指标之一, 其性能最终影响到系统的误码率. 相位噪声的来源主要有: $1/f$ 噪声、热噪声、无源元件的热噪声以及外界的噪声干扰等. 各种不同噪声对于相位噪声有着不同的影响, 如图 2 所示.

对于一个实际的振荡器而言, 在偏移频率 f_m 处

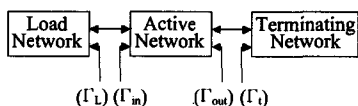


图 1 (a) 反射式振荡器结构
Fig. 1 (a) Configuration of a reflective oscillator

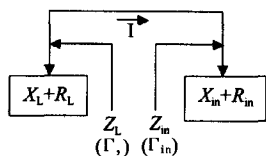


图 1 (b) 有源电路与谐振电路构成的振荡网络
Fig. 1 (b) Oscillation network composed of active and resonating circuits

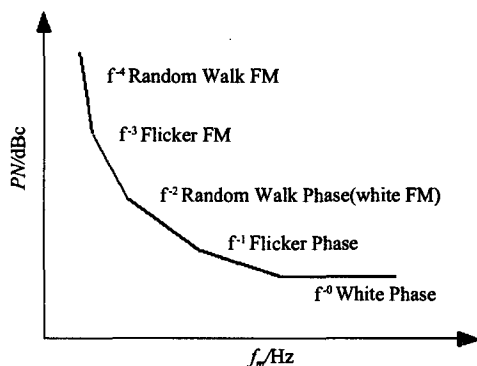


图 2 各种噪声对振荡器相位噪声的影响
Fig. 2 Impacts of different noises on the phase noise of the oscillator

的相位噪声如式(4)所示

$$L(f_m) = \frac{FkTB}{2P_{s,av}} \left[\frac{1}{f_m^3} \frac{f_c^2}{4Q_L^2} + \frac{1}{f_m^2} \left(\frac{f}{2Q_L} \right)^2 + \left(1 + \frac{f_c}{f_m} \right) \right] \text{dBc/Hz} \quad (4)$$

其中 F 为晶体管的噪声指数、 Q_L 为谐振电路的 Q 值、 $P_{s,av}$ 为振荡器的输出功率^[6-8].

由相位噪声的公式知, 为了减小相位噪声, 可以选用噪声系数较低的晶体管和高 Q 值谐振电路, 同时应在晶体管最低噪声的偏压下, 使其输出功率达到最大.

1.3 反射式压控振荡器的设计

在压控振荡器设计过程中, 首先使得有源电路在工作频率下产生负阻, 同时设计匹配输出网络, 使得 $\Gamma_{in} > 1$. 本文中采用串联反馈增加 Γ_{in} , 如图(3)所示. 采用了 OMMIC EDO2AH 工艺所提供的 PHEMT 管作为有源电路的基础, 在管子源极加入微带线作为串联反馈. 同时设计了 $1/4\lambda$ 接地线作为管子的直流接地, 对射频而言该接地线为开路. 在实际的设计中通过仿真软件仔细调整使得 $\Gamma_{in} > 1$. 选用了 BE 二极管作为变容二极管, 其电容量的大小随偏置电压大小而改变, 从而改变谐振频率.

采用 Agilent ADS 提供的谐波平衡法^[7] 对压控振荡器 MMIC 进行优化设计. 仿真结果表明该振荡器的调谐范围为 27.4 ~ 33.2GHz; 输出功率可达 10dBm; 在偏移中心频率 100KHz 处, 相位噪声为 -85.5dBc/Hz, 在偏移中心频率 1MHz 处, 相位噪声为 -106.7dBc/Hz.

2 芯片测试

压控振荡器 MMIC 在 OMMIC EDO2AH 工艺线

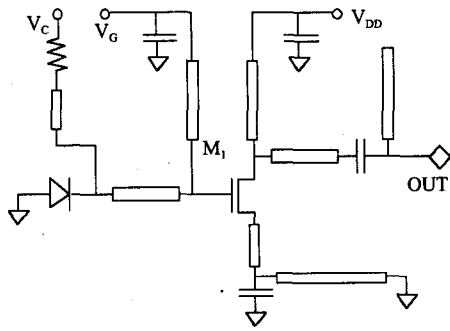


图3 压控振荡器 MMIC 的电路原理图
Fig.3 Schematic of the MMIC VCO

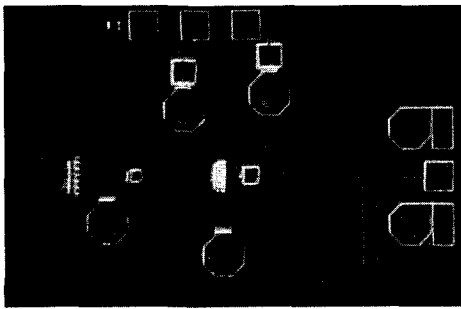


图4 压控振荡器 MMIC 显微照片
Fig.4 Microscope photo of MMIC VCO

上实现,图4为芯片实物的显微照片,芯片的尺寸为1.2mm×0.8mm.

图5是芯片测试的仪器连接图,采用在片测试.为了避免外界电源的干扰,采用干电池加载偏置,并基于干电池设计调压电路用于控制偏压.偏置电压与控制电压通过直流探针加载,振荡器输出信号通过高频探针引出.在测试过程中,毫米波输出通过频谱分析仪观察.测试前对仪器进行了校准,并记录了所有线缆的插损.



图5 压控振荡器 MMIC 的测试图
Fig.5 Measurement photograph of MMIC VCO

图6是压控振荡器 MMIC 的输出频谱,在控制偏压为-0.1V时,输出频率为28.46GHz、功率为2.83dBm.考虑到线损4.5dB,实际输出功率>7dBm.

图7,8反映了压控振荡器 MMIC 的相位噪声,测试的偏压为-0.1V.在偏移中心频率100KHz处,相位噪声为-65.34dBc/Hz,在偏移中心频率1MHz处,相位噪声为-101.8dBc/Hz.

在测试中,控制电压从-0.4~+1.5V变化时,调谐范围为27.5~30.4GHz.测试中得到的相位噪声性能与调谐带宽没有仿真得到的指标好,经分析可能是由于匹配电路与BE二极管的寄生参数所致.

3 结语

本文采用 OMMIC ED02AH 工艺,设计了毫米波压控振荡器.文中给出了压控振荡器芯片的电路仿

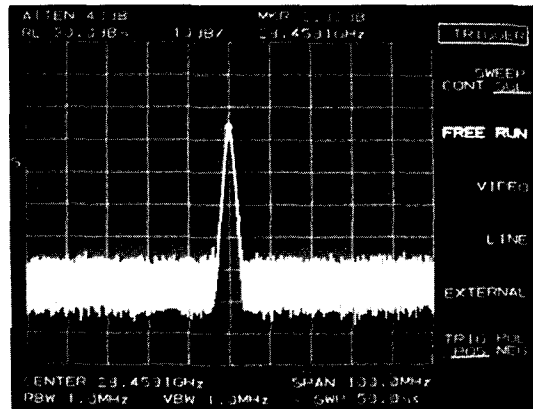


图6 压控振荡器 MMIC 的输出频谱
Fig.6 Output spectrum of MMIC VCO

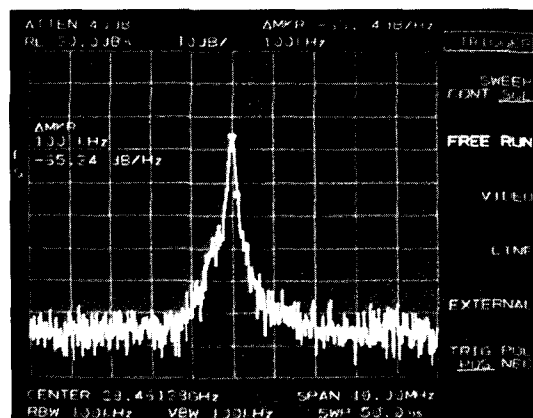


图7 压控振荡器 MMIC 的相位噪声(偏移100KHz处)
Fig.7 Phase noise of MMIC VCO (@ 100KHz offset)

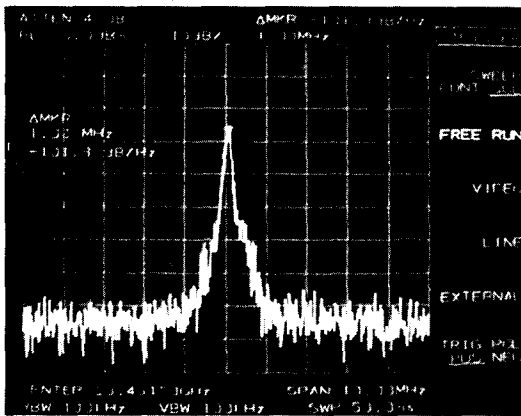


图8 压控振荡器 MMIC 的相位噪声(偏移 1MHz 处)
Fig.8 Phase noise of MMIC VCO (@ 1MHz offset)

真结果以及芯片的测试数据。对比分析了仿真与测试的性能指标,两者一致性较好,达到了设计的预期目标。在此基础上,今后将进一步提高压控振荡器的带宽等性能。

致谢 衷心感谢东南大学章丽、李维老师以及李芹博士在 MPW 项目上所提供的帮助。

REFERENCES

[1] Clint Smith. *LMDS: Local Multipoint Distribution Service*

- [M]. New York; McGraw-Hill, 2000;5.
- [2] Frequency Regulation Plan of 26GHz FDD Mode Local Multi-Point Distribution System, Ministry of Information Industry of the People's Republic of China (关于发布 26GHz 频段 FDD 方式本地多点分配业务(LMDS)频率规划(试行)的通知,信息产业部), 2001, 652.
- [3] Guillermo Gonzalez. *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design* [M]. New Jersey; Prentice-Hall, 1984; 194.
- [4] SHEN Xiao-Fang, YAO Qi-Jun, LIN Zhen-Hui, *et al.* Measurement of the frequency spectrum of a submillimeter CW source by heterodyne mixing and direct detection [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (申小芳, 姚骑均, 林镇辉, 等. 用外差混频和直接检波方法测量亚毫米波连续波源的频谱. *红外与毫米波学报*), 2005, 24(5):321—327.
- [5] TANG Hong-Jun, HONG Wei. A novel millimeter wave substrate integrated waveguide filter with compact configuration [J]. *J. Infrared Millim. Wave* (汤红军, 洪伟. 一种紧缩结构新型毫米波基片集成波导滤波器. *红外与毫米波学报*), 2006, 25(2):139—142.
- [6] Maas Stephen A. *Nonlinear Microwave and RF Circuits* [M]. Boston; Artech House, 2003; 537,544,557,571.
- [7] WANG Yun-Yi, MIAO Jin-Feng, SHENG Chu-Yu. *Microwave Devices and Circuits* [M]. Beijing: Beijing Science and Technology Univ. Press (王蕴仪, 苗敬峰, 沈楚玉. *微波器件与电路*. 北京:北京理工大学出版社), 1981; 270.
- [8] Ulrich L Rohde, David P Newkirk. *RF Microwave Circuit Design for Wireless Applications* [M]. New York; John Wiley and Sons, 2000; 782.