

# 30GHz PHEMT 振荡器

吴阿慧

(中国电子科技集团公司第十三研究所, 石家庄 050051)

**摘要:** 介绍了一种 30GHz 单片压控振荡器的设计、制作和性能. 该芯片采用 PHEMT 工艺制作, 电路基于负阻匹配共源网络结构设计. 根据 PHEMT 器件的小信号  $S$  参数和直流  $I-V$  参数, 提取出该器件的 Modified-Materka FET 模型参数. 变容二极管由共源-漏晶体管来完成, 并通过栅压来控制其容值. 测试该电路振荡频率为 30.12GHz, 输出功率达到 12.5dBm, 调谐带宽大于 150MHz. 振荡器的测试结果与理论设计结果基本吻合.

**关键词:** VCO; PHEMT; MATRKA 模型; 谐波平衡分析

EEACC: 1230B; 1350; 1350H

中图分类号: TN43

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)S0-0252-04

## 1 引言

毫米波压控振荡器(VCO)是许多毫米波系统的关键部件, 三端器件的毫米波 VCO 所采用的器件主要是: MESFET, HEMT, PHEMT, HBT 等. 在已发表的文献中, 有许多单片或准单片振荡器的报道, 它们大部分使用 MESFET 或异质结双极晶体管(HBT)器件<sup>[1]</sup>, 因为使用这类器件的振荡器比 PHEMT 基振荡器显示出较低的相位噪声. 然而, 当振荡器与 PHEMT 放大器、混频器用于单片接收和发射时, 高性能的 PHEMT 振荡器将具有相当大的优势<sup>[2~4]</sup>.

在本文描述的 VCO 中, PHEMT 器件提供负阻用于起振和维持振荡, 可变电容管提供频率调谐.

该电路用  $0.25\mu\text{m}$  PHEMT 技术制作, 使用的器件为梳状栅结构( $10\times 40\mu\text{m}$ ; 栅长为  $0.25\mu\text{m}$ ); 由集成的变容二极管进行频率调谐( $4\times 30\mu\text{m}$ ; 栅长为  $3\mu\text{m}$ ).

## 2 器件模型及参数的提取

### 2.1 PHEMT 模型

压控振荡器设计的第一步是选择有源器件. 和 MESFET 器件比较, PHEMT 器件具有功率大、效

率高、增益高和噪声低的优点. 在设计之前需要建立 PHEMT 器件的分析模型, 根据 PHEMT 器件的小信号  $S$  参数、脉冲  $I-V$  数据, 提取出该器件的 Modified-Materka 模型, 如图 1 所示. 一个好的模型及精确的模型参数是进行 VCO 电路仿真设计的基础.

### 2.2 变容二极管模型

变容二极管作为非线性 Schottky 二极管来建模<sup>[3]</sup>, 在片测量变容二极管在不同偏压下的  $S$  参数, 其模型参数由直流  $I-V$  数据和  $S$  参数导出. 变容二极管为梳状结构( $4\times 30\mu\text{m}$ ; 栅长为  $3\mu\text{m}$ ).

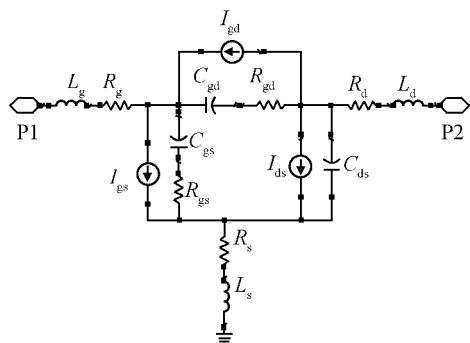
### 2.3 无源元件模型

用建模软件对无源器件建模. 薄膜电阻包括电阻膜的分布效应; 薄膜电容包括下面导体和连接上面金属的空气桥的分布效应, 电容介质是 SiN, 相对介电常数是 7, 厚度为  $0.4\mu\text{m}$ ; 微带线和空气桥建模是分别使用 ADS 的微带和带状元件, 金层厚度大于  $3\mu\text{m}$ .

## 3 电路原理及设计

我们采用 Agilent 公司的 ADS 软件进行电路设计.

用 ADS 软件优化设计压控振荡器, 要考虑: (1) 在微波频段, 在一定频率和一定偏置条件下, 测量晶



Modified\_Materka\_Model

PHEMT400μ	Cgs=0.5101 pF	Vjr=	wBvgd=
NFET=yes	Gdcap=1	Is=8.806e-012	wBvds=
PFET=no	Cgd=0.04497 pF	Ir=	wlidsmax=
Idss=0.1346	Rd=1.625	Imax=	wPmax=
Vto=-1.287	Rg=0.811	Imetlt=	Allparams=
Beta2=-6.679e-002	Rs=1.375	N=1.61	
Ee=1.242e+000	Ld=0.02257 nH	Fnc=	
Ke=-0.1086	Lg=0.04454 nH	Lambda=	
Kg=0.03333	Ls=0.015 nH	Vbr=	
SI=2.335e-001	Cds=0.09796 pF	R=	
Ss=6.379e-004	Gsfwd=2	P=	
Tau=2.335psec	Gsrev=	V=	
Rgs=4.615e-009	Gdfwd=2	Taumdl=no	
Rgd=	Gdrev=	wVgfd=	
Fc=	Vbi=0.939	wBvgs=	
Gscap=2			

图1 PHEMT 简化的 Modified-materka-model 及器件模型参数

Fig. 1 PHEMT simplified modified-materka-model and the parameters of the PHEMT device model

晶体管的小信号 S 参数比较方便,但是,振荡器工作在饱和区,即大信号工作状态;(2)采用经典的两端振荡器的负阻分析法分析振荡器,为使振荡器工作在最佳状态,即振荡输出功率最大,必须使振荡器在接有一定的谐振回路和反馈电路条件下实现输出负阻绝对值为最大;(3)设计直流偏置电路时要考虑:直流偏置供电对振荡器的 RF 性能影响要尽可能地小;直流偏置供电电点与振荡输出要有良好的隔离. 电路的优化设计是保证在所需频带内有最大和稳定的输出功率.

PHEMT 管作为振荡器件,通常可有共源、共漏、共栅三种连接方式,它属于三端口器件,在实际使用中,其中一个端口接地而形成二端口网络. 30GHz VCO 电路采用共源电路结构,由负阻发生网络、谐振网络、输出网络和直流偏置电路组成. 在电路分析中,把有源器件作为满足振荡条件的二端口网络来处理,因此,在 PHEMT 管两端的子电路

都是独立设计.

栅端的谐振电路包括一段传输线和一个与之串联的可变电容来提供频率调谐. 可变电容是由共源漏的晶体管来完成,通过栅压控制其电容值<sup>[2]</sup>. 该 PHEMT 可变电容的栅宽设计为 300μm(4×30μm; 栅长为 3μm). 变容管的偏压通过一大电阻提供;栅和漏偏压通过一大电感提供;输出由有源器件的漏电极引出. PHEMT 器件在最大跨导 G<sub>m</sub> 上加偏压.

30GHz VCO 电路基于负阻概念设计<sup>[1,2]</sup>. 振荡器是需要正反馈的放大器,由于微波场效应管一般具有很高的反向隔离,因此产生振荡所需的反馈必须采用外部电路来实现. 共源结构是在源地之间串联电容,以降低稳定因子并在输入端口呈现负阻. 有源器件为 0.25μm 栅长 PHEMT,器件总栅宽为 400μm(梳状栅结构 10×40μm).

根据晶体管二端口网络特性的论述,负阻网络发生振荡的条件是晶体管的输入阻抗(Z<sub>in</sub>)与源阻抗(Z<sub>s</sub>),或者晶体管的输出阻抗(Z<sub>out</sub>)与负载阻抗(Z<sub>l</sub>)有下列关系:

$$Z_{in}(\omega_0) + Z_s(\omega_0) = 0 \quad (1)$$

$$\text{或} \quad Z_{out}(\omega_0) + Z_l(\omega_0) = 0 \quad (2)$$

(1)式意味着输入电路的总电阻为 0,总电抗也为 0;(2)式意味着输出电路的总电阻为 0,总电抗也为 0. 由(1),(2)式都可以求出振荡器的工作条件,从上式中的实部(总电阻)为 0,可以确定振荡器的输出功率;从上式中的虚部(总电抗)为 0,可以决定振荡器的谐振频率.

选择源地之间串联电容的容值,使振荡管两端口呈现最大负阻,为使振荡电路得到最大输出功率,负载阻抗的实部应按下式计算;

$$\text{Re}(Z_l) = \frac{1}{3} | \text{Re}(Z_{out}) | \quad (3)$$

采用谐波平衡法,估算振荡电路的振荡频率和输出功率. 对谐振网络、输出网络、源端匹配网络依据阻抗匹配条件分别设计. 输出由有源器件的漏电极引出,连接在源电极上的开路和短路短截线用于提供匹配和二次谐波抑制.

对所设计的电路进行版图设计,并用 ADS 软件对电路中的无源结构进行电磁场仿真.

## 4 电路制作、性能及结论

材料:双 δ-PHEMT 材料, R<sub>□</sub>:183Ω/□.

所作 PHEMT 器件性能:  $I_{dss} = 110 \sim 160 \text{mA}$ ,  $V_p = 0.9 \sim 1.4 \text{V}$ ,  $BV_{gd} > 8 \text{V}/100 \mu\text{A}$ .

30GHz 振荡器电路, 采用 75mm PHEMT  $0.25 \mu\text{m}$  标准工艺制作, 主要工艺过程包括: 全平面离子注入台面隔离、源漏欧姆接触制作、电子束直写  $0.25 \mu\text{m}$  “T”形栅、栅挖槽、制作 TiPtAu 势垒、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  介质钝化、空气桥互连、背面减薄、通孔、背面金属化等。微带线、空气桥、键合点电镀金加厚大于  $3 \mu\text{m}$ , 芯片减薄至  $100 \mu\text{m}$ . 整个电路芯片加工过程采用 pcm 图形监控. 所作芯片如图 2, 3 所示. 版图中设计



图 2  $0.25 \mu\text{m}$  “T”形栅  
Fig. 2  $0.25 \mu\text{m}$  “T” gate

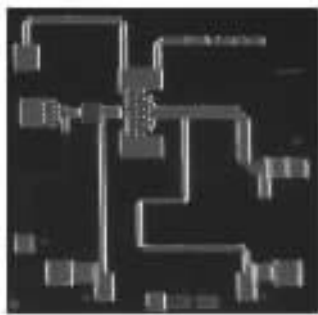


图 3 30GHz MMIC 振荡器  
Fig. 3 30GHz MMIC oscillator

了调节微带线, 通过空气桥跨接, 可以方便地调节振荡器的振荡频率.



图 4 30GHz 振荡器测试系统

Fig. 4 Measurement system of the 30GHz oscillator

该振荡器电路分别装配在自行制作的测试载体和进口载体上, 在 HP8565E 频谱仪上进行测试, 如图 4 所示. 中心振荡频率为  $30.12 \text{GHz}$ , 输出功率大于  $12.5 \text{dBm}$ , 变容管偏压在  $0 \sim -1.5 \text{V}$  之间变化, 调谐带宽大于  $150 \text{MHz}$ . 该电路性能与设计结果基本吻合.

#### 参考文献

- [1] Lee C H, Han S, Matinpour B, et al. A low phase noise X-band MMIC GaAs MESFET VCO. IEEE Microw Guided Wave Lett, 2000, 10(8): 325
- [2] Portilla J, De la Fuente M L, Pascual J P, et al. Low-noise monolithic Ku-band VCO using pseudomorphic HEMT technology. IEEE Microwave Guided Wave Lett, 1997, 7(11): 380
- [3] Archer J W, Batchelor R A, Smith C J. Low-parasitic, planar Schottky diodes for millimeter-wave integrated circuits. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1990, 38(1): 15
- [4] Piernas B, Nishikawa K, Nakagawa T, et al. A compact and low-phase-noise Ka-band PHEMT-based VCO. IEEE Trans Microw Theory Tech, 2003, 51(3): 778

## 30GHz PHEMT Oscillator

Wu Ahui

*(The 13th Reserch Institute of CETC, Shijiazhuang 050051, China)*

**Abstract:** This paper describes the design, fabrication and performance of a monolithic 30GHz VCO. This MMIC chip utilizes the PHEMT technology. A negative resistance common-source feedback configuration is utilized in the design. The modified-Materka FET model parameters are extracted from the small signal  $S$ -parameters and dc  $I$ - $V$  parameters. The varactor diode is implemented by common-source-drain-FET. The capacitance is controlled by the gate voltage. The circuit measurements show a frequency tuning bandwidth of about 150MHz at  $\sim 30.12$ GHz center frequency and an output power up to 12.5dBm. The measurements are corresponding with the design.

**Key words:** VCO; PHEMT; MATRK-model; harmonic-balance-analysis

**EEACC:** 1230B; 1350; 1350H

**Article ID:** 0253-4177(2005)S0-0252-04