

# 8mm 小型化低相位噪声锁相源

恽小华 恽才华 张国春 周白华

(南京理工大学微波工程研究中心, 江苏, 南京, 210094)

**摘要** 依据小型化、低相位噪声原则设计了毫米波锁相源。在实现方案中, 选用了高性能的锁相环、分频器和集成 VCO 等器件; 结构上采用了毫米波高密度组装技术和 SMT 技术, 使研制成功的毫米波锁相源具有体积小、相位噪声低、入锁快和可靠性好等特点, 可适用于机载、弹载等许多场合。

**关键词** 毫米波, 锁相环路, 相位噪声。

## 1 原理

本文依据小型化、低相位噪声设计原则, 采用了双锁相环路、高次谐波法来实现毫米波锁相源。其原理框图如图 1 所示, 毫米波 VCO<sub>1</sub> 输出信号耦合出一部分信号输入到谐波混频器, 并与微波基准源信号谐波混频出中频信号, 送至毫米波锁相环路与晶振信号鉴相, 其相位误差由鉴相器转化为误差电压, 经环路放大和滤波后反馈控制 VCO<sub>1</sub>, 达到锁定 VCO<sub>1</sub>, 并改善毫米波信号性能的目的。

由图 1 可见, 环路锁定后, VCO<sub>1</sub> 的相位噪声在近载频(小于环路带宽)处主要取决于微波基准源和毫米波锁相环路的本底噪声, 以及环路对 VCO<sub>1</sub> 相位噪声的抑制能力; 在远端取决于 VCO<sub>1</sub> 的相位噪声。

VCO<sub>1</sub> 输出信号经一级注入放大, 使输出功率达到系统所要求的电平。

## 2 毫米波锁相源的设计

毫米波锁相源主要由毫米波组件、微波基准源和毫米波锁相环路三部分组成。

### 2.1 毫米波组件

毫米波组件主要由 VCO<sub>1</sub>、注入放大器、谐波混频器等组成。

毫米波 VCO 实现的方法一般有两种, 一种是变容管电调 VCO, 另一种是腔稳偏压调 VCO。相比较, 对用于窄带情况, 腔稳偏压调 VCO 不仅结构简单, 而且稳定性好, 相位噪声低, 本方案选择腔稳偏压调 VCO 作为环路 VCO<sub>1</sub>。谐波混频器采用 16 次谐波, 信号为 35GHz, 本振为 2.2GHz, 中频为 200MHz, 本振功率为 100mW, 变频损耗为 30dB。其结构如

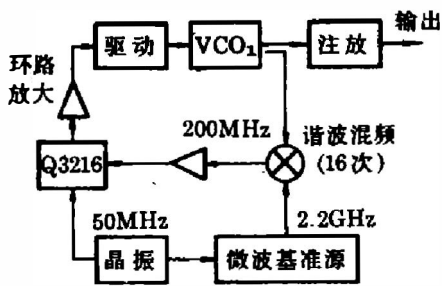


图 1 毫米波锁相源原理框图

Fig. 1 Principle scheme of millimeter wave phase-locked source

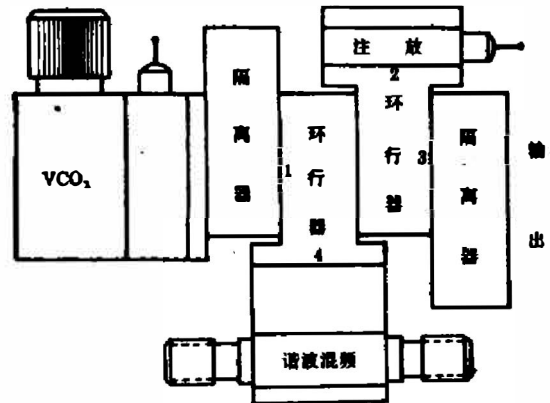


图 2 毫米波组件

Fig. 2 Millimeter wave assembly

图 2 所示。

由两个环行器组成一个四端环行器来连接  $VCO_1$ 、注入功率放大器、谐波混频器和输出隔离器,  $VCO_1$  信号由环行器 1 端输入至 2 端注入功率放大器, 经放大后由 3 端输出. 高次谐波器接于 4 端, 其中微波本振信号 (2.2GHz) 由 SMA 端输入, 毫米波信号由  $VCO_1$  提供, 信号大小可由两环行器中间的调节模片调整. 毫米波组件的外形尺寸为  $60 \times 70 \times 30 \text{mm}^3$ .

## 2.2 微波基准源

微波基准源主要由微波低噪声单片  $VCO_2$ 、放大器、微波分频器、单片锁相环频率合成器和低噪声环路放大器等组成, 其原理如图 3 所示.

单片锁相环采用 Q3216, 它是目前性能最佳的一种单片低功耗微波锁相环<sup>[1]</sup>, 工作频率为 1.6GHz, 本底相位噪声达  $-150 \text{dBc/Hz}$ , 无鉴相死区, 功耗仅为 0.5W. 环路放大器采用超低噪声运放 OP37E, 这样组合成的锁相环本底噪声仍可达到  $-150 \text{dBc/Hz}$ . 同时, Q3216 具有鉴频/鉴相双重功能, 环路入锁容易.

由于  $VCO_2$  输出频率为 2.2GHz, 因此鉴相频率 (即晶振频率, 参考分频比  $R=1$ ) 可选为 50MHz, 这样前置分频比为 2, 可变分频比  $N=22$ , 环路分频比  $N_{\text{总}}=44$ , 本底噪声恶化约为 33dB, 折合成 2.2GHz 输出的相位噪声本底为  $\mathcal{L}_{\text{近端}} = -112 \text{dBc/Hz}$ , 这里晶振信号 (50MHz) 的相位噪声优于  $-152 \text{dBc/Hz}$  (1kHz), 对环路本底噪声影响不大.

微波前置分频器采用  $\mu\text{pB584}$ , 实测本底相位噪声为  $-120 \text{dBc/Hz}$ .

微波  $VCO_2$  频率范围为 2000~2500MHz, 其相位噪声为  $\mathcal{L}(100 \text{kHz}) = -112 \text{dBc/Hz}$ , 输出功率为 10mW. 为了保证近端/远端相位噪声均优于  $-110 \text{dBc/Hz}$ , 环路带宽应选择大于 100kHz.

微波放大器采用单片放大器, 增益为 12dB, 输出功率大于 100mW. 这样, 2.2GHz 微波基准源的相位噪声经计算得:

$$\mathcal{L}(1 \text{kHz}) = -110 \text{dBc/Hz}.$$

## 2.3 毫米波锁相环路

毫米波锁相环路采用 Q3216, 环路放大器采用 OP37E, 环路本底噪声为  $-130\text{dBc}/\text{Hz}$ , 对输出相位噪声影响不大, 因此, 输出相位噪声远端取决于 VCO, 本身, 近端取决于微波基准源. 微波基准源折合至毫米波的相位噪声为  $\mathcal{L}(1\text{kHz}) = -85\text{dBc}/\text{Hz}$ . VCO 的电流驱动器采用功率场效应管 (VMOS)<sup>[2]</sup>.

### 3 结果

微波基准源与毫米波锁相环路均选用表面安装元件, 并采用了表面安装技术, 毫米波组件采用高密度组装技术, 这样研制的锁相源体积较小, 总的体积小于  $60 \times 80 \times 90\text{mm}^3$ . 由于国内现有的 HP3047 毫米波相位噪声测试系统的本底相位噪声为  $-75\text{dBc}/\text{Hz}(1\text{kHz})$ , 因此, 我们采用 HP3048 来测试中频 200MHz 的相位噪声, 以说明毫米波信号的相位噪声, 实测结果  $\mathcal{L}(1\text{kHz}) = -85\text{dBc}/\text{Hz}$  (见图 4 上面一条曲线), 图 4 下面一条曲线为微波基准源的实测相位噪声, 相比较, 毫米波锁相源的相位噪声性能较好地反映了微波基准源的性能, 说明该毫米波锁相源的研制是成功的. 其它主要指标为: 中心频率为 35GHz, 功率为 180mW, 入锁时间小于 0.1ms, 无失锁状态. 这些性能可满足大部分机载和弹载等应用场合.

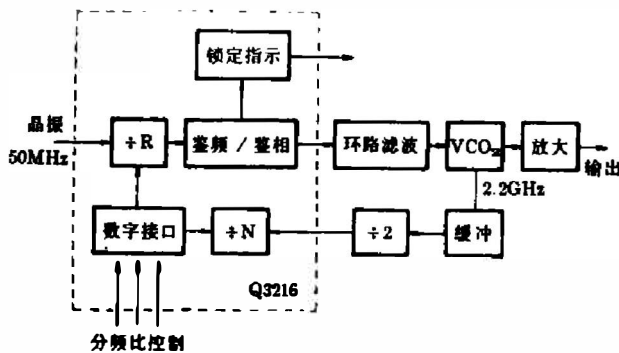


图3 微波基准源原理框图

Fig. 3 Principle scheme of microwave reference source

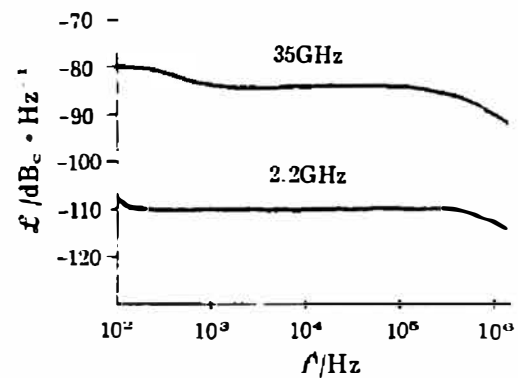


图4 相位噪声的测试结果

Fig. 4 The measurement results of phase noise

### 参考文献

- 1 QUALCOMM INC. Q3216 Technical Data Sheet, San Diego, 1994
- 2 MOTOROLA INC. VMOS Technical Data Sheet, Arizona, 1992

## 8mm MINIATURE LOW PHASE NOISE PHASE-LOCKED SOURCE

Yun Xiaohua Yun Caihua Zhang Guochun Zhou Baihua

(*Microwave Engineering Research Center, NUST, Nanjing, Jiangsu 210094, China*)

**Abstract** A millimeter wave phase-locked source was designed by the principle of miniaturization and low phase noise. Some high-performance components, such as phase-locked loop, frequency divider, integrated VCO, etc. were chosen, and the millimeter wave high-density assembly technology and SMT were utilized. The millimeter wave phase-locked source developed by the authors is characteristic of small size, low phase noise, fast locking and high reliability, and can be used in airborne and bombborne environment.

**Key words** millimeter wave, phase-locked loop, phase noise.