

# 无线测试工程师知识点分享：低相位噪声在微波源中的研究，避免踩坑！

产品名称	无线测试工程师知识点分享：低相位噪声在微波源中的研究，避免踩坑！
公司名称	深圳市实测通技术服务有限公司
价格	.00/件
规格参数	测试周期:5-7天 寄样地址:深圳宝安 价格费用:电话详谈
公司地址	深圳市罗湖区翠竹街道翠宁社区太宁路145号二单元705
联系电话	17324413130 17324413130

## 产品详情

### 1 引言

随着技术的不断发展，各种微波设备对振荡信号的相位噪声要求越来越高。目前在微波振荡源中广泛采用的倍频链方式，因需要多次倍频、放大、滤波而必须采用较多的有源器件从而产生了较大的附加噪声。对微波振荡源的相位噪声有较大的影响。2856MHz微波源同时利用了脉冲倍频锁相环和介质振荡器两项技术，有效的提高了微波振荡源的相位噪声，同时具有谐波低、体积小、功耗小、可靠性高的优点。可用于卫星通信、雷达、实验设备等对相位噪声要求较高的场合。

### 2 相位噪声的定义与测量[1]

相位噪声是用来表征一个微波源的短期频率稳定度。相位噪声的概念可通过图1来说明。

图1 相位噪声概念的说明

当一个理想的单频正弦波振荡频率源 $f_0$ 很稳定时，其时域信号波形相位过零点的位置在短期内（通常指1秒内）应当是稳定不变的，如图中（a）所示。对应的在频域中的频谱应是一条谱线 $f_0$ ，如图中（c）所示。但是当因噪声等随机因素引起频率不稳定时，时域中相位过零点位置会抖动，称为噪声对相位的寄生调制，如图中（b）所示。相位变化则频率也会发生变化，在频域中对应的频谱不是 $f_0$ 一条谱线了，而是如图中（d）所示扩散为一个连续频谱。谱线从 $f_0$ 向两边扩展范围的宽窄与频率稳定度相关。频率稳定度越好，则扩展越窄，谱值变化越陡。因此在频域可用相位噪声大小来表征短期频率稳定度。在实际测量中，由于相位噪声频谱特性是对称的，常用单边带SSB（Single Side Band）相位噪声来表征短期频率稳定度。SSB相位噪声 $L(f)$ 定义为：偏离频率源 $f_0$ 为 $f$ 处，每赫兹带宽的单边带功率 $P_{SSB}$ 与频率源功率 $P_0$ 之比，通常用dB表示，图2为其示意图。

图2 SSB相位噪声示意图

### 3 设计要求

设计的2856MHz微波源主要电特性指标：

输出信号频率：2856MHz；信号输出功率：1端口、2端口输出功率 100mW(20dBm),3端口、4端口输出功率 20mW(13dBm)；输出信号频率准确度： $\pm 50\text{KHz}$ ；输出信号相位噪声： $-105\text{dBc}/\text{Hz}@20\text{KHz}$ ；谐波抑制： $50\text{dBc}$ ；放大器带宽： $4\text{MHz}$ ；路间隔离度： $40\text{dBc}$ 。

### 4 设计方案[1-6]

根据设计要求，经多种方案比较，最后采用了锁相介质振荡器电路的方案。其组成主要由参考源、PDRO（锁相介质振荡器）、1:4功分放大和电源四部分构成，如图3。工作原理，参考源产生的102MHz信号与PDRO中介质振荡器产生的微波信号取样锁相使PDRO输出信号锁定在2856MHz。PDRO输出的信号经1:4功分放大输出。

图3 电路框图

#### 4.1 介质振荡器

介质振荡器是用低损耗、高介电常数的介质材料做成的谐振器，介质与微带线耦合，组成一个高Q值的谐振电路，具有尖锐的频率选择特性。同时在介质振荡器的带宽很窄（被设计为0.3%~0.5%）在其压控范围内只有一个频点是参考源频率的整数倍，介质振荡器只能锁定在设计频点上。所以介质振荡器的相位噪声优于其它形式的振荡器。介质振荡器具有体积小、Q值高、频率范围大（可达毫米波段）、在高低温下频率的稳定性好等优点，在微波电路中得到广泛的应用。

PDRO（锁相介质振荡器）的原理如图4。

图4 PDRO 原理图

AMP(微波放大单元), VCC (+12电源), REFMON (参考频率)

#### 4.2 脉冲倍频锁相环电路

脉冲倍频锁相环电路的工作原理如图5，工作过程是102MHz参考源经过脉冲形成电路，产生一个102MHz整数倍谐波的尖脉冲序列。在鉴相器中VCO频率2856MHz和102MHz的28倍谐波进行比相，通过锁相环路将VCO的频率锁定在2856MHz上。与倍频链技术相比脉冲倍频锁相环技术中采用了取样鉴相器在取样脉冲尖峰时对VCO输出的高频信号进行取样，得到的控制用信号经环路滤波器滤除高频分量后，经运算放大器放大输出直流信号控制VCO的输出信号频率，从而使VCO输出频率直接锁定在参考频率的高次谐波上。与数字分频锁相技术相比消除了数字分频噪声基底的影响，相位噪声明显优于数字分频锁相，是相位噪声接近理论值。

图5 脉冲倍频锁相环电路的工作原理

### 5 相位噪声实际测量与分析

在实际测量中采用Agilent公司的4440E频谱仪。在单边带相位噪声测量中，由于频谱仪通常使用功率电平（单位dBm）进行，这样根据公式（1.1）进行变换，转换为对数形式：

式(1)中 $L(0)$ 代表频率源功率电平， $L(\text{off})$ 代表的是频偏 $\text{off}$ 处归一化到1Hz等效噪声带宽内使用有效值检波器获得的噪声功率电平。测试结果如图6和图7，微波源的相位噪声如下： $-105 \text{ dBc/Hz}@1\text{KHz}$ ； $-110 \text{ dBc/Hz}@10\text{KHz}$ ； $-110 \text{ dBc/Hz}@20\text{KHz}$ ； $-113 \text{ dBc/Hz}@100\text{KHz}$ ； $-135 \text{ dBc/Hz}@1\text{MHz}$ ；

杂波抑制： $-80 \text{ dBc}$

输出频率： $2856\text{MHz}$

输出功率：1端口、2端口输出功率  $100\text{mW}(20\text{dBm})$ ；3端口、4端口输出功率  $20\text{mW}(13\text{dBm})$ 。

从中可以看出由于在微波源中采用了介质振荡器和脉冲倍频锁相环技术，相位噪声满足用户要求。表明在微波振荡源中采用介质振荡器和脉冲倍频锁相环技术可以取得比倍频链方式更优越的相位噪声性能。

图6 信号频谱

图7 单边带相位噪声

## 6 结论

微波频率源是现代微波系统中最重要的核心部件之一，有微波系统的“心脏”之称。在微波源的各项参数中相位噪声尤其重要，微波源的相位噪声决定了整个系统的相位噪声。 $2856\text{MHz}$ 微波源采用了介质振荡器和脉冲倍频锁相环技术，取得预计的性能指标。同时对降低微波源的相位噪声方面作了研究，并在实际应用中取得了满意的效果，本文中阐述的用介质振荡器和脉冲倍频锁相环技术的组合制造低相噪微波源的方法不仅适用于本课题，由于介质振荡器适用于从L波段到毫米波段，所以对于不同频段的微波振荡器我们均能取得较为满意的低相位噪声性能。并且能在提高设备相位噪声性能的同时可以提高可靠性和稳定性。