

# 无线测试工程师知识点分享：频谱仪矢量信号分析的应用，避免踩坑！

产品名称	无线测试工程师知识点分享：频谱仪矢量信号分析的应用，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

随着现代频谱仪数字中频处理技术的发展和應用，使其在通信、航天、计量以及軍工各个领域中的使用愈加广泛。不仅使数字信号解调成为可能，并且为模拟调制信号的解调提供的更优秀的方法。同时，对于发射机和频综源的频率及相位稳定时间，也可以进行精确的分析。信号的矢量表述方法理解信号的矢量表达以及IQ信号的概念，是现代频谱分析和信号分析理解和应用的基础。作为一个图解工具，矢量是一个直角坐标系中的旋转的箭头。箭头的长度代表信号的峰值幅度。逆时针旋转方向为正方向。箭头与横轴正半轴的夹角为相位。信号周期对应于箭头旋转一周的时间。信号每秒钟完成旋转的次数对应于信号频率。

信号矢量在纵轴上的投影长度等于信号的峰值幅度乘以相位正弦值，因此，如果信号是一个正弦波，该投影就对应于信号的瞬时幅度（见图1）。

图1 时域表述的正弦波与矢量信号的对应关系

图2 频谱仪中频信号处理原理图

用矢量表述信号，可以完整地描述信号的幅度、频率和相位。因此，在信号分析中，我们常把信号进行矢量分解，也就是将信号分解为频率相同、峰值幅度相同但相位相差90的两个分量。通常，我们采用一个正弦信号（ $A\sin\omega t$ ）和一个余弦信号（ $A\cos\omega t$ ）描述这两个分量，其中余弦分量被称为同相分量，即I分量；正弦分量被称为正交分量，即Q分量。频谱仪数字中频处理技术输入频谱仪的射频信号经过混频后变为中频信号IF，再经过带通滤波器（中频滤波器）进入A/D转换器。在数字处理部分，对下变频为基带的IQ信号进行低通滤波和欠采样，存储在内存中，准备进一步处理，存储的数据表述IQ信号的电压值。在频谱仪设置过程中，模拟中频滤波器带宽为IFBW，数字处理部分的低通滤波器带宽为解调带宽。欠采样使IQ信号的采样率除以2的n次方，当解调带宽较窄时，过高的采样速率是毫无意义的。

信号解调方法 对应内存中的IQ信号，可以采用的处理方法有：幅度分析、频率分析、相位分析和FFT频谱分析。在频谱仪的矢量分析过程中，频谱仪设置为零SPAN，也就是在固定输入频率处，中频带宽之内进行分析。

1. 分析处理(1) 其中， $A_m$ 为输入信号的幅度。根据IQ信号的每一个采样值，可以计算出对应采样时刻的幅度值，显示单位可以是线性电压值(V)，对数电压(dBmV)或功率值(dBm)。在测量时间内的所有 $A_m$ 数值构成IQ幅度数组 $A_m$ -DC。(2) 其中， $\theta_m$ 为输入信号的相位。根据IQ信号的每一个采样值，可以计算出对应采样时刻的相对相位值。在测量时间内的所有 $\theta_m$ 数值构成IQ相位数组 $\theta_m$ -DC。(3) 其中， $F_m$ 为输入信号的频率。对相邻点相位差值对时间求导，得出频率值。在测量时间内的所有 $F_m$ 数值构成IQ频率数组 $F_m$ -DC。(4) 其中，Spec为输入信号中频带宽内的频谱。

2. 解调方法

如前所述，对应于载波信号，可以得到随时间变化的幅度、相位和频率曲线以及实时频谱。AM解调对AM-DC数组进行分析，此数组对应射频功率 - 时间曲线TRF。对此数组进行FFT计算，得到AF频谱，其基波频率即调制频率 $f_{mod}$ ，根据AF频谱，可以计算调制谐波失真和信纳比。对此数组进行窄带低通滤波，获得载波幅度数组 $V_c$ ，计算AM-DC与 $V_c$ 的差分数组，它与 $V_c$ 的比值AMdeep数组表述调制深度，对其进行检波：正峰值(+pk)：数组中的最大值；负峰值(-pk)：数组中的最小值；峰 - 峰值/2 (1/2pk-pk)：数组中的最大值与最小值差值的一半；均方根值(rms)：数组中数值的均方根值。

图3 AM解调原理

图4 FM解调原理

图5 M解调原理

FM解调 对FM-DC数组进行分析，此数组对应频率曲线TFM。

对此数组进行FFT计算，得到AF频谱，其基波频率即调制频率 $f_{mod}$ ，根据AF频谱，可以计算调制谐波失真和信纳比；

对此数组进行检波，与AM解调类似，获得峰值和均方根值。 M解调对 M-DC数组进行分析，此数组对应频率曲线 FM。

对此数组进行FFT计算，得到AF频谱，其基波频率即调制频率 $f_{mod}$ ，根据AF频谱，可以计算调制谐波失真和信纳比。

对此数组进行检波，与AM解调类似，获得峰值和均方根值。

解调实例 图6是罗德与施瓦茨公司频谱仪选件FS-K7在分析调频信号的应用。它采用上述解调原理，可以实时解调调频、调幅、调相和实时频谱。

图6 FM解调分析

图7 实时频谱分析

实时频谱分析 实时频谱分析与传统的频谱仪分析技术不同，是在传统超外差式频谱仪的基础上，对中频信号进行FFT分析（见公式4）。由于其实时快速的特点，在现代通信与雷达信号的分析中，尤其是跳频信号的监测，得到越来越多的应用。实时频谱分析同时包含AF频谱监测，分析AM或RF power的解调频谱，有助于分析未知信号的符号速率。对应于非等幅连续数字调制信号（如PSK、QAM信号），在AF频谱上，大于0Hz的第一个峰值点通常对应于信号的符号速率，使未知信号的矢量分析成为可能。雷达信号测试分析 由于频谱仪的矢量分析功能可以实时分析信号的频率、功率、相位和实时频谱，因此在现代雷达的研发和测试之中，具有矢量分析功能的频谱仪已经成为雷达发射机及其器件的必备工具。雷达信

号分析原理与“信号解调方法”一致，分析幅度、频率和相位在时域内的特性曲线。对于常用雷达信号，如线性调频，巴克码等，可以分析它们的脉内特性，包括升降沿分析、频率特性、相位特性以及矢量图等。

图8 线性调频信号分析

图9 瞬态特性测试

雷达信号测试分为功率和频谱测试以及脉内调制测试。图8所示为线性调频脉内调制测试，观察脉内频率变化情况，包括线性度和调频带宽，采用频谱仪的矢量分析功能。在频谱仪基本频谱分析功能的频域测试，可以观察信号频谱以及测试功率，频谱仪时域测试或矢量分析的AM解调，可以测试脉冲波形、升降沿等信息。

发射机和频综源稳定时间测量 对于发射机和频综源来说，它们的幅度、频率和相位瞬态特性是重要的测试指标。一般来说，频率稳定时间是指发射机在输出电平达到一定数值（通常为稳定输出功率-30dB）开始，监测FM解调频谱，直到频率稳定到设计限值之内的这一段时间。其分析原理与前文“信号解调方法”一致，分析幅度、频率和相位在时域内的特性曲线，用AM曲线定义起始时间，观察FM和PM曲线，获得测试结果。 结语 在现代频谱分析技术中，矢量分析技术是及其重要的一环，具有广阔的发展和应用前景。同时，这也是解调分析中必不可少的手段，适用于各种模拟和数字调制信号的解调，包括一些特殊调制信号如应用在航空系统的VOR/ILS等。在通信信号解调分析（模拟和数字）、雷达信号分析以及频综瞬态分析等领域，矢量信号分析的应用在不断发展和创新。