

【鼎阳硬件智库原创 | 测试测量】基于全数字中频技术的频谱分析仪的工作原理-V1.0

文档编号：HWTT0047



鼎阳硬件设计与测试智库
群策群力，连接所有硬件人！



【鼎阳硬件智库原创 | 测试测量】基于全数字中频技术的频谱分析仪的工作原理-V1.0

汪进进

鼎阳硬件设计与测试智库发起人之一
深圳市鼎阳科技有限公司

进进按语

频谱仪的工作原理难懂还是示波器的难懂？这是一个问题。这个问题的答案可能取决于您过去的知识背景。对于长期卖示波器的 SE 或者是每天使用示波器的电源工程师，当然觉得频谱仪的原理更难懂。

本文试图站在写作者自己作为一个初学者的角度将频谱仪的原理讲明白、讲透彻、讲到位，希望其他初学者看了之后都能看懂。遗憾的是，完成此文后，当我真的想把自己拉回一个初学者的状态，可就是无法拉回去了。因此，我自己居然无法知道这篇文章是否真的能让初学者看明白。我的感觉是没有达到这个写作目的，但又无力确切地知道哪些细节没有能够讲明白。这源于自己的理解不到位或者自己的表达技巧没有到位。

这种无力感让我很想得到更多的帮助。因此，我在这篇文章的题目上标识“V1.0”版本的记号，恳请各位读者朋友热心参与修改，您的点滴意见我都将忠实地记录下来并给予反馈。我将根据大家的意见对此文进行修改，产生 V2.0 版本。提出修改意见，奖励微信红包 8.88 元。希望通过这种群策群力的方式，我们共同将这篇关于频谱仪原理的文章完善，成为每一位频谱仪初学者最好的教材。

反馈请发邮件至我的邮箱：frankie.wang@siglent.com。感谢您的支持！





频谱分析仪简称频谱仪，是射频工程师最熟悉的一种仪器。相对于示波器作为“电子工程师的眼睛”，占据“时域第一仪器”甚至“电子测试测量第一仪器”之地位，频谱仪堪称是射频领域的“频域第一仪器”。

有趣的是，长期习惯时域思维的工程师对频谱仪的原理了解很少，而长期从事射频的工程师问起示波器的问题也充满萌意。

在多数频谱仪资料中都会提到，频谱仪从实现技术的原理上进行分类，有 FFT 分析仪和超外差扫频式频谱分析仪两大类；也有说法是分为 FFT 分析仪，超外差扫频式频谱分析仪和实时频谱仪三类。

现在市面上能买到的频谱仪几乎都是基于“超外差扫频”技术实现的。我不确定是否有专门的 FFT 分析仪在卖。所谓 FFT 分析仪是指先采集时域信号，再用 FFT 算法将这个时域信号转换为频域，其实和示波器 FFT 分析的原理是完全一样的。任何示波器的数学运算功能中都有 FFT 运算功能，从这种意义上说，示波器就是一种 FFT 分析仪。也因为示波器有 FFT 功能，习惯于在时域里游走的朋友喜欢问：示波器本身就可以做频域分析，为什么还需要专门的频谱仪？示波器和频谱仪做频域分析有什么区别？扫频式频谱仪难道不用 FFT 吗？……

基于频谱仪这种仪器，仪器厂商后来又定义了新的产品品类，如信号分析仪，矢量分析仪，EMI 接收机，实时频谱仪等新仪器。**这些变换了名目的仪器之基本原理都是基于“超外差扫频”实现的，只是增加了比较复杂**的分析软件或是功能模块的硬件细节上有所改变。

本文将要讨论的基于全数字中频技术的频谱仪本质上也是基于“超外差扫频”的基本原理。随着数字技术特别是 FPGA 技术的发展，早期的全部采用模拟技术实现的频谱仪慢慢全部绝迹了，只是业界并没有将基于全数字中频技术的频谱仪称为数字频谱仪。（**我没有查核目前主流频谱仪厂商在卖的频谱仪哪些型号还是全模拟实现的，诸位如果有这方面的清单，欢迎提供给我。**）数字技术为频谱仪的发展带来了很大的技术突破，其中一个集大成者就是所谓的实时频谱仪，它将 Overlap FFT 技术运用到了数字中频部分，结合频域模板触发，产生了新的品类也满足了一些新的测量应用，成为仪器界一度流行的风景。

总结前面这段散侃式文字，我想强调的重点是：**目前市面上所有频谱仪类产品，核心的原理都是“超**



外差扫频”。而理解超外差，实质就是理解混频器。

让我们先全景式概略了解一下目前主流的基于全数字中频技术的频谱仪的基本原理。

1、基于全数字中频技术的频谱仪原理概述

鼎阳科技频谱仪旗舰产品 SSA3000X 系列正是基于全数字中频技术实现的，如图 1 所示是鼎阳科技 SSA3000X 的基本原理框图。一般的基于全数字中频技术的频谱仪实现原理皆与此相近。

SSA3000X 由模拟部分和数字部分组成。模拟部分将输入信号转换为模数转换器（ADC）可以接受的电压范围和频率范围以实现数字化。数字部分对离散化之后的数字信号进行中频滤波、检波、视频滤波等一系列处理之后送屏幕显示。

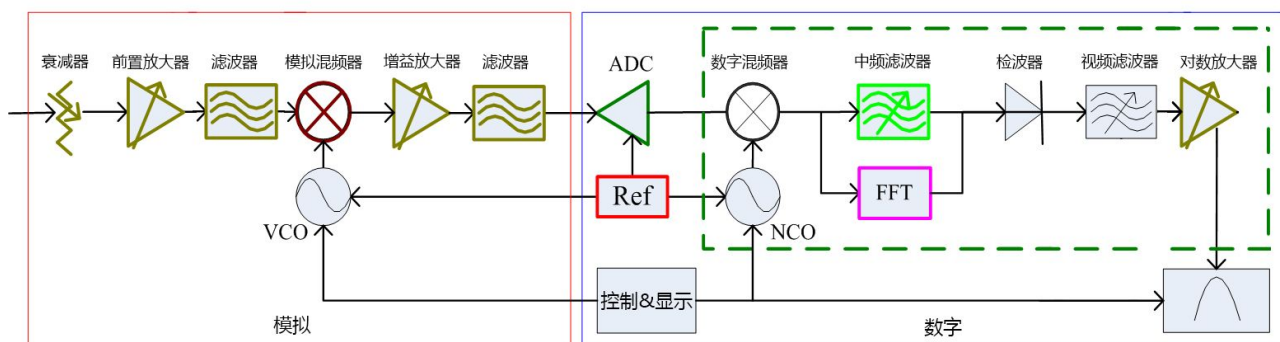


图 1 基于全数字中频技术的频谱仪原理框图

SSA3032X 的输入信号频率范围是 9KHz-3.2GHz，但 ADC 的采样率是 40MS/s，只能对 20MHz 信号带宽以内的信号进行不失真的采样。如何将输入信号很大的频率范围转换为相对较小的频率呢？这里面涉及到频率的“搬移”是通过混频器(Mixer)实现的。

输入信号通过衰减器，前置放大器及低通滤波器之后，将输入信号转换为混频器最佳工作电平送给混频器，混频器根据该输入信号和本地压控振荡器（VCO）的输出时钟信号一起进行“超外差扫频”变换，将输入信号的频率范围从 9KHz-3.2GHz 转换为基于一定频点（几十 MHz）、能够被 ADC 采样的带通信号，该信号的带宽是分辨率带宽 RBW 的几倍。VCO 的输出时钟信号的频率受数字部分的软件控制频率逐渐变化（扫频）。

混频之后的信号再经过放大器和滤波器处理之后送给 ADC 进行离散化转换为数字信号，再经过混频器数字下变频转变为基带信号。该基带信号经过中频滤波器（IF Filter）或 FFT 分析处理，再经过检波器



和视频滤波器处理之后送屏幕显示。FFT 可以理解为一组中频滤波器同时进行处理。中频滤波器的带宽即非常著名的 RBW。RBW 和滤波器的形状将决定可以分辨的最小频率以及频谱的形状。

由于 SSA3000X 的屏幕显示的像是 751 个（不同厂商的这个指标不一样），但 ADC 离散化之后的样本点可能超过 751 个，需要采用不同的数据压缩处理算法来确定如何在屏幕上显示 ADC 之后的数据。检波器就是对离散后的数据样本按照一定的算法进行“筛选”。视频滤波器则对检波后的信号进行低通滤波，以过滤掉频谱中“底部”的随机噪声。

2, “超外差扫频”：为什么要经过四级混频是理解频谱仪的难点

上面这段概述对于之前没有任何射频领域经验的工程师朋友仍显晦涩。理解频谱仪的原理，首先要理解“超外差扫频”的概念。

频谱仪的典型显示画面如图 2 所示，该图表示输入信号在不同的频率点时功率（有时纵坐标是用“电压”）的大小，横坐标表示频率，纵坐标表示每一个频率点对应的功率。设想有一个中心频率在逐渐增加的带通滤波器，输入信号经过每一个滤波器，对应产生一个被过滤的输出信号，计算被过滤的输出信号的功率。逐渐增加带通滤波器的中心频率，相应就得到功率随着频率变化的功率谱。这样设计频谱仪原理上不是更简单吗？但真实的频谱仪没有采用这种调节滤波器中心频率的方式，而是采用中心频率固定的带宽滤波器，通过“频率搬移”的方式改变输入信号的频率以使频率被改变之后的信号依此能够被中心频率固定的带通滤波器过滤，由于频率变换的关系式是确定的，从而也就获得随频率变换的功率谱。这就是采用超外差扫频方式的基本原理。在工程实践上，改变输入信号的频率比改变带通滤波器的中心频率要更容易实现。



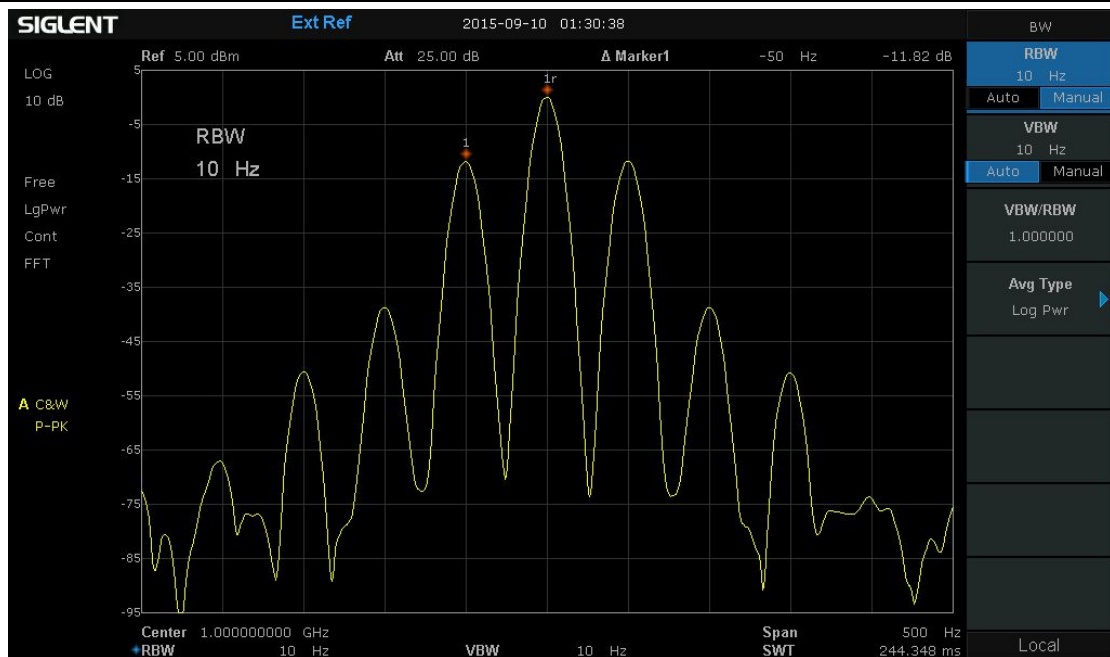


图2 鼎阳科技 SSA3000X 频谱仪的测量结果

为了能够实现频率“搬移”，就需要用到混频器。混频器对输入混频器的两路信号进行“矢量乘法运算”，得到输入两个输入信号频率的“和”与“差”，但混频器是非线性器件，它输出信号的频率成份还包括原始输入信号的频率成份，也就是说混频器的输出包括了至少四种频率成份，如图3所示。

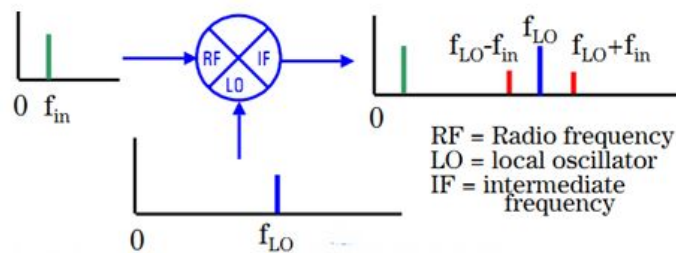


图3 乘法器的输入和输出信号的主要频率成分

乘法器的数学本质是： $\cos \alpha \cos \beta = [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]/2$ 。如果混频器的应用是为了利用 $(\alpha + \beta)$ ，被称为上变频，如果是为了利用 $(\alpha - \beta)$ ，则是下变频。在频谱仪的实现上是利用 $(\alpha - \beta)$ ，本振频率—输入信号频率=中频频率。假如采用一级混频，输入信号频率范围是9KHz—3.2GHz，中频频率是固定的，假设是20MHz，那么对应的本振频率范围是：20.9MHz—3.22GHz。这会带来什么问题？这是一个大大的问题！拿具体化的例子来说明：例如本振频率是2.8GHz，那么2.7GHz和2.9GHz就会同时混到100M这个点上，无法区分2.7GHz和2.9GHz。



如果频谱仪采用一级混频而且第一级输出的中频是频率比较低，当输入频率范围大于 $2f_{IF}$ ，那么被测信号范围和镜像信号范围将会重叠，如图 4 所示。这时即使采用低通滤波器不能将镜像频率信号滤除，所以对输入滤波器的要求在不影响主信号的情况下，应用一个可调谐带通滤波器以抑制镜像频率。为了覆盖（9kHz~3.6GHz）的频率范围，由于较宽的调谐范围（几十个倍频程）使滤波器变得极为复杂而不容易实现，因此必须采用高中频方案：第一中频频率比输入信号频率高，那么本振信号也比输入信号频率高，镜像频率和输入信号的频率间隔为 $2f_{IF}$ ，也就是镜像频率远远高于本振信号频率和输入信号的频率，因此设计一个固定的滤波器，其截止频率位于最高输入频率和中频频率之间就很容易解决镜像频率对有用信号的影响。此外，低通滤波器还可以抑制本振信号从频谱仪输入端口泄漏出去而影响被测件。

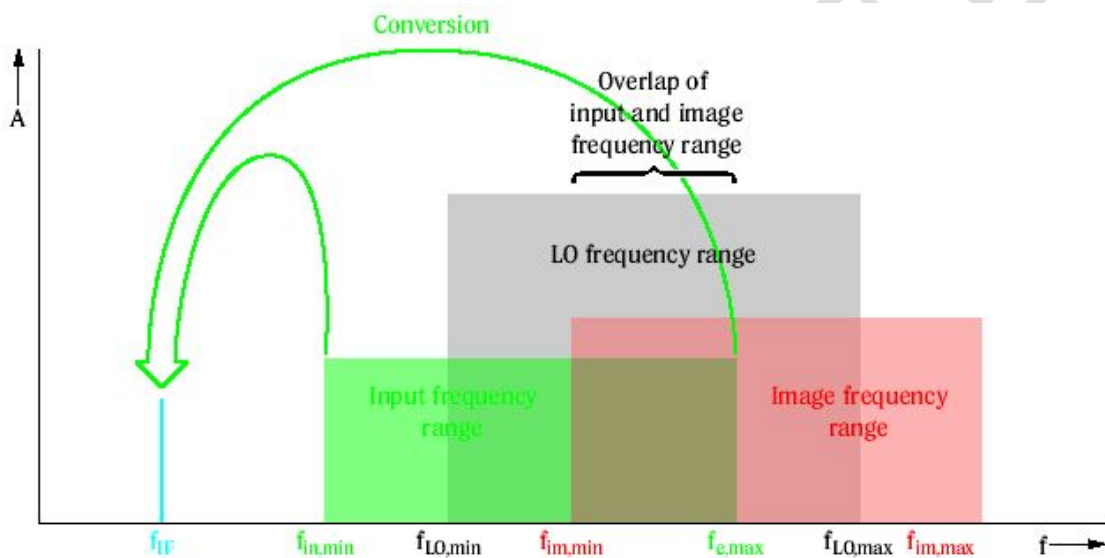


图 4 混频器的中频频率选择不合适带来频率混叠

实际上的频谱仪一般采用多级混频，现在市面上多数基于数字中频的频谱仪多是采用四级混频。模拟部分采用了三级混频，如图 5 所示，第一级混频器要选高频本振，例如选择第一中频 3.2GHz，频率范围从 3.2GHz~9kHz，那么带内没有两个信号能够在同一个本振下混频到 3.2GHz，处理上是合理的。但是仍然有两个缺点：第一个缺点即最近的镜像点为 $3.2\text{GHz}+9\text{kHz}$ ，与 $3.2\text{GHz}-9\text{kHz}$ 作为 9kHz 本振的镜像，镜像相距过近不容易滤除；第二个缺点为本振处在射频测量带内，会通过混频器向外反向泄露到射频口，引起输入端被内部信号干扰问题。因此，对于输入频率范围是 9kHz~3.2GHz 的频率仪，一般选第一级本振的频率会高达 4GHz。混频器前的低通滤波器的截止频率在 3.2GHz 以上，在 8GHz（中频镜像）的衰减必须达到输入口底噪之下，以防止高频段的能量混频到 4GHz 中频。理论上讲，低于第一中频的扫宽都是可以在这个结构下实现的，即频率范围指标可以达到 4GHz。



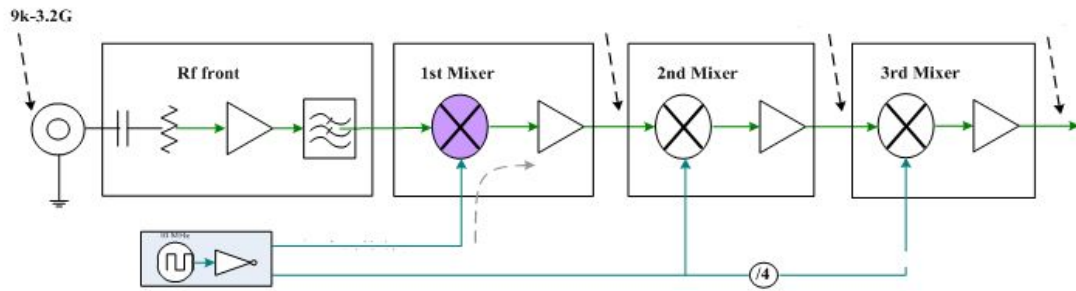


图 5 频谱仪的模拟部分一般采用了三级混频

模拟部分经过三级混频，可以得到公式 $f_{\text{sig}} = f_{\text{LO1}} - (f_{\text{LO2}} + f_{\text{LO3}} + f_{\text{final IF}})$ ，如何选择 f_{LO1} , f_{LO2} , f_{LO3} ，这是有一些商业秘密色彩的数据了。在此不再细述。

经过三级混频之后的信号是中心频率为 20 MHz 左右（大概的一个数据，每种频谱仪的具体大小可能不一样）、带宽为 5 MHz 左右（大概的一个数据）的带通信号，这种带通信号经过第四级变频，如图 1 所示中的数字混频器。这是第四级混频，是数字下变频，它将带通信号转换为基带信号。这个变换步骤和通信领域的基站、手机的实现原理完全一样了。由于完全采用数字方式实现的，这部分有个相关的技术名词叫“软件无线电”。

“超外差扫频”的实现过程中，本地振荡器 VCO 的频率受到数字部分的软件控制，逐渐从低频按一定规律步进“扫描”递进到高频，再重新从低频开始扫描下一个周期。输入到频谱仪的外界信号的频率对于频谱仪的“软件算法”在一开始是“未知的”，但是中频的频率点是固定的、已知的，可以通过软件控制本振的频率，选择某个频率点，相应就得到了输入信号的频率。因此，本振信号频率变化就等于输入信号频率变化，对于全数字中频的频谱仪，“扫频”是通过软件来控制本振频率的变化来实现输入信号在一段频率范围内的扫描的。扫描的过程如图 6 所示，当一个待测试的单频点信号输入到频谱仪，实际上测量到的是中频滤波器幅频特性的形状，即实际测量的结果是中频滤波器幅频特性和输入信号的卷积。



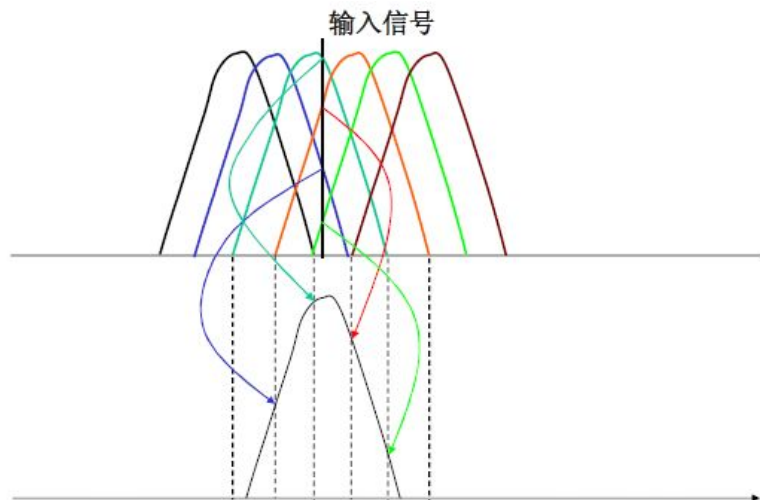


图 6 频谱仪的扫描过程

3，一个衰减器，三个放大器，四个滤波器：都是影响幅值精度的关键点，也是频谱仪使用技巧的关键

频谱仪中使用模拟的衰减器，放大器，滤波器等器件会带来噪声和失真，这些器件的特性将影响到频谱仪可测量到的最小电平，影响频谱仪的动态范围，测量精度。这些器件的一些参数有的是用户无法改变的，有的是用户可以改变的。理解这些器件在频谱仪中的作用和性能指标将有助于更好地使用频谱仪：衰减器该不该打开，设置为多少？前置放大器什么时候需要打开？中频滤波器的带宽怎么设置是合适的？……

3.1，一个衰减器，两个放大器（前置放大器和中频放大器）是联动工作

衰减器的作用是：1，保护混频器，输入信号电平过高会导致混频器被损坏。混频器有一个最大可接受的输入电平，被称为最大安全输入电平，输入信号不能超过该安全电平。2，改善匹配，获得最佳动态范围，减少增益压缩和失真。混频器有一个最佳输入电平，通过衰减器和前置放大器的配合工作，以使混频器工作在最佳输入电平，也就是所谓的获得“最佳匹配”，提高测量的准确度。混频器是非线性器件，当混频器输入信号电平较高时，输出会产生很多频率成份，而且电平太高会干扰测试结果，使无互调范围减小。当输入信号电平在混频器 1dB 压缩点以上时，测试结果会不准确。通过设置步进衰减器调节进入混频器的电平，可以得到较大的动态范围。但是，衰减器设置过大，仪器的本底噪声被抬高。衰减大，失真小，噪声大。因此，混频器的设置是用户要慎重考虑的。



为了防止直流信号损坏混频器，在衰减器电路中包含了一个隔直电容。如图 7 所示，这使频谱仪的输入信号频率并不能从 0Hz 开始的，多数是从 9KHz 开始的。

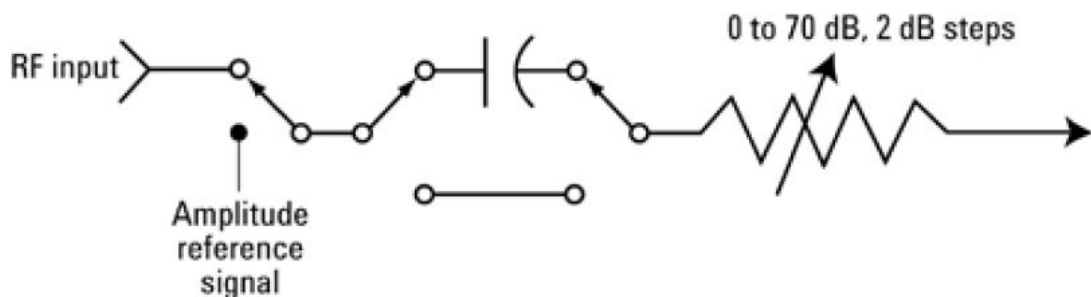


图 7 频谱仪输入衰减电路

衰减器和前置放大器配合工作，使得混频器获得最佳输入电平，它们和混频器之后的中频增益放大器也是联动工作的。衰减器和前置放大器调节信号电平达到适合混频器的最佳匹配，但并不一定能使 ADC 获得最佳动态范围，需要再和增益放大器配合，以最小化 ADC 的量化误差。这和示波器中通过探头衰减和改变垂直增益使被测信号占满示波器的栅格，使得示波器的 ADC 获得最小量化误差是一个道理。

前置放大器对于有些频谱仪不是标配，需要通过外置的方式实现。输入信号先连接到外置放大器，再从放大器连接到频谱仪的 RF 输入端。鼎阳科技 SSA3000X 标配前置放大器，为测量极微弱的小信号，譬如 EMI 测量带来了很大的便利性。

3.2. 对数放大器：数字方式实现时不过是一个量纲转换的关系式

对数放大器并不太影响对频谱仪原理的理解，在有些频谱仪的原理框图中干脆没有画出来。由于频谱仪可测量的动态范围很大，如果用电压作为垂直量程，将使得显示结果的垂直轴的波形“被压缩”，“挤”在一起影响观察。因此，传统的纯模拟频谱仪需要通过硬件的“对数放大器”电路将频谱仪的测量结果显示为对数表示后的结果。这在数字方式实现时，不过是将量纲转换一下的一个关系式而已。但是在 EMI 测量中，又特别要求用电压作为垂直量单位。





3.3, 四个滤波器, 除了中频滤波器是带通, 其它都是低通的

顾名思义, 低通滤波器的目的都是为了过滤掉截止频率点以上的高频成分。在 SSA3000X 频谱仪的实现上, 使用了三个低通滤波器和一个带通滤波器:

(1), 混频器之前的低通滤波器

阻止一些无用的频率成份进入混频器, 和本振信号一起产生“不需要”的多余的信号。对于 SSA3000X 频谱仪, 该滤波器的截止频率在 3.2GHz 以上, 在 8GHz (中频镜像) 的衰减必须达到输入端口底噪之下, 以防止高频段的能量混频到 4GHz 中频。理论上讲, 低于第一中频的扫宽都是可以在这个结构下实现的, 即频率范围指标可以达到 4GHz。

用户无法通过改变任何设置来改变这个滤波器的截止频率点。

(2), 中频增益放大器之后的低通滤波器

在纯模拟的频谱仪示意图中, 这个滤波器一般就是中频滤波器了, 但在基于全数字中频的频谱仪中, 该低通滤波器是为了过滤掉混频器输出得到的镜向频率成份。

用户也无法通过改变任何设置来改变这个滤波器的截止频率点。

(3), 视频滤波器

视频滤波器的作用就有点像在示波器中的带宽限制, 就是对输入的信号进行了低通滤波使得波形看起来更加光滑一些。视频滤波器的带宽在频谱仪中标识为 VBW (Video BandWidth)。减小 VBW 将使得频谱仪显示的频谱的“旁瓣”看起来更加光滑, 抑制了随机噪声, 可以提高小信号的测量精度。

在频谱仪的操作中, 需要适当调节 VBW 以获得更佳测量结果。这是一个常用的设置。





(4)，数字方式实现的中频滤波器 (IF Filter) 和 FFT 是并行的：这也许比较难以理解的

中频滤波器及其带宽分辨率带宽 (RBW, Resolution BandWidth) 是频谱仪中极其重要的概念和指标。

中频滤波器是一个带通滤波器。在纯模拟的频谱仪中采用的模拟滤波器，分辨率带宽和形状因子都很难做到很小，譬如模拟滤波器的 RBW 一般从 100kHz—10MHz，其选择性依赖于滤波电路阶数，一般频谱仪为 4 级滤波电路，也有 5 级滤波电路的产品，这样可分别得到 14 和 10 的形状因子。但是理想的高斯滤波器的形状因子为 4.6，不能用模拟滤波器实现。基于全数字中频技术的频谱仪采用数字方式实现中频滤波器，可以获得更灵活的滤波器形状因子和更小的分辨率带宽。鼎阳科技 SSA3000X 的最小分辨率带宽只有 10Hz。

RBW 越小，可以分辨的相邻两个频率的间隔就越小，譬如可以精确分辨出 100MHz 和 100.01MHz 两种频率的分量。

RBW 越小，噪声带宽就越窄，进入频谱分析仪的噪声就越小，那么接收灵敏度就越高，频谱仪测量到的本底噪声就越低。

但是，RBW 越小，频谱仪的扫描时间很长，此时切换为 FFT 的方式进行滤波，测量速度更快。FFT 的物理意义就是窗函数形状的一组滤波器对输入信号进行滤波，滤波之后的结果就是包含了很多频率点的频谱。因此，这里的 FFT 理解为一排并行的 RBW 滤波器（窗函数），相当于一次性跨了 N 个频点，检测了 N 个峰值。所以 FFT 比单纯扫频理论上快 N 倍。

在频谱仪的操作中，需要适当调节 RBW 以获得更佳测量结果。这是一个更常用的设置。

4，一个基本时钟 Ref 产生两个参考时钟：VCO 和 NCO

图 1 所示的 Ref 是频谱仪内部由一个温控晶振 (TCXO) 产生的时钟信号，频率一般是 10MHz。这是频谱仪的“心脏”。为了增加频率精度与长期的稳定性，对大多数频谱仪来说，广泛采用恒温控制晶振 (OCXO)。可以从频谱仪后面板 REF OUT 得到该参考时钟信号，也可以应用外部时钟来作为频谱仪的参考时钟。该参考时钟作为 ADC 采样的时间基准，同时作为模拟部分的 VCO 的时基和数字部分的 NCO 的时基。VCO 和 NCO 都





是基于 PLL 倍频技术将 10MHz 频率提升到更高频率。

和时基相关的频谱仪的一种重要指标是相位噪声，是本地振荡器 Ref 短时间稳定度的度量参数。相位噪声通常是以一个单载波的幅度为参考，并偏移一定的频率下的单边带相位噪声。这个数值是指在 1Hz 带宽下的相对噪声电平，故其单位为 dBc(1Hz)或 dBc/Hz，c 指的是载波，由于相位噪声电平比载波电平低，所以为负值。频谱分析仪的本振信号的相位噪声经过混频器混频，将在输入信号上产生相应的相位噪声，这就意味着即使输入的是一个理想的正弦信号，频谱仪的本振相位噪声也将在显示的谱线上叠加，如果输入信号夹带相位噪声（实际上常有这种情况），频谱仪的显示轨迹就包含了输入信号和本振信号合成的相位噪声。本振的相位噪声太差，在输入信号邻近的小信号就无法检测出来。相位噪声主要影响频谱仪的分辨率和动态范围。

使用频谱仪来准确分析被测信号相位噪声条件：频谱仪的相位噪声要比被测信号的相位噪声明显好很多。为了测试频谱分析仪的相位噪声指标，必须用一个相位噪声比频谱仪相位噪声好得多的源来测试。鼎阳科技 SSA3000X 的相位噪声 $< -98\text{dBc/Hz}$ ，在 10KHz 偏移处。

5, 检波器：全数字中频的实现方式和模拟电路实现方式大不一样

输入信号幅度的信息包含在中频信号的幅度中，通过使用模拟或者数字滤波器，在滤除高的中频信号之后，可以得到中频信号的包络，如图 8 所示。

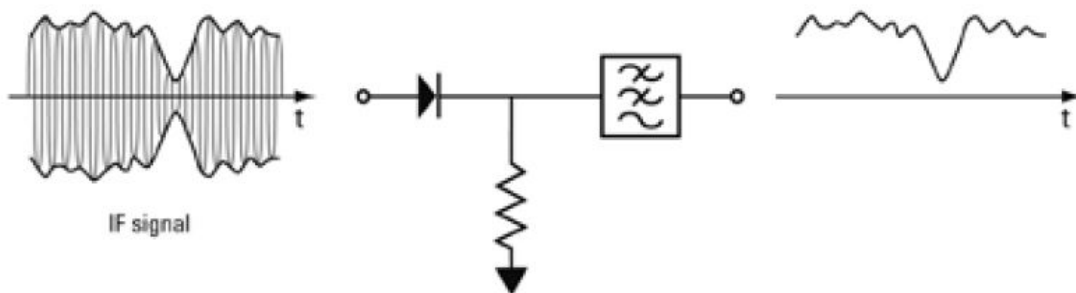


图 8 模拟频谱仪中的检波器的实现

现代频谱仪使用液晶显示器来代替阴极射线管来显示记录频谱，相应地，幅度和频率显示的分辨率都受到限制。幅度分辨率的限制可用曲线处理来弥补，这样即可在很高分辨率的情况下来确定幅度。特别当显示大的频率跨度时，一个像素点包含了相对较大子段的频谱信息，由于频谱仪第一级本振的调整步长取决于分辨率带宽，这样多个取样点（测试结果值）会落在一个像素点上，像素点显示什么样的数值取决于



检波器的检波方式。举个例子，当测试 100MHz~3.1GHz 的频谱时，RBW 等于 10MHz，频率跨度为 3GHz，频谱仪只显示 300 点，实际上一个显示点（象素点）代表了 10MHz 信号带宽内的频谱。假设本振以 RBW/10 为步进，那么每 10MHz 带宽的输入信号测试了 10 次，在整个带宽内一共测试了 3000 次，中心频率分别为 110MHz、120MHz、130MHz、……3.1GHz，但是显示点只有 300 个，那么一个显示点代表这 10MHz 频带内的 10 次测量结果值，到底代表哪一次或者哪几次结果的合成就由检波器来决定。

因此，数字方式的“检波”就是采用一定的算法从 N 个样本点之间产生 1 个样本点，上例中就是从 10 个样本点中产生 1 个样本点。目前这些算法有 7 种，如图 9 所示：

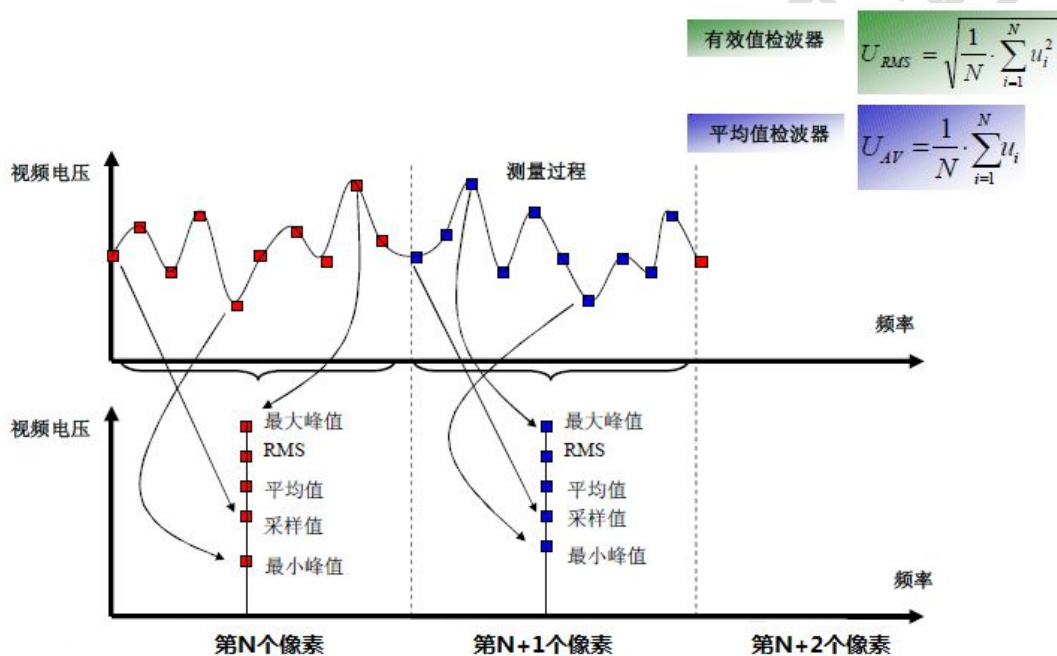


图 9 检波器的多种检波算法

- 1、最大峰值检波器：从分配到每个像素点的取样点中取一个最高电平并显示出来，如上例，将第9个点和第13个点的测试结果值显示出来，其它的无效。
- 2、最小峰值检波器：从分配到每个像素点的取样点中取一个最小电平并显示出来，如上例，将第5个点和第17个点的测试结果值显示出来，其它的无效。
- 3、自动峰值检波：同时显示最高电平和最小电平，两点之间用垂线相连。



4、取样检波：从分配到每个像素点的取样点中取固定位置的电平并显示出来，如图，将第1个点和第11个点的测试结果值显示出来，其它的无效。在频率跨度远远大于RBW的情况下，输入信号将不再被可靠检测。

5、RMS检波器（均方根）：计算分配到每个像素点的所有取样值的均方根值，结果为像素点对应频宽内的信号功率。在RMS计算时，包的取样值要求采用线性值来计算。

6、平均值检波：计算分配到每个像素点所有取样点的线性平均值。

7、准峰值检波：这是一种用于干扰测量应用并定义了充放电时间的峰值检波器，用于EMC方面的测试。

6, 容易引起误解的词：超外差的“超”，中频滤波器的“中频”，视频滤波器的“视频”，对数放大器的“对数”

频谱仪的很多专业词语，从字面上理解起来很费劲。例如“超外差”为什么叫“超”？“中频滤波器”为什么叫“中频”？“视频滤波器”为什么“视频”？“对数放大器”为什么是“对数”？

外差就是混频的一种说法，加个“超”字是指“超音频频率或高于音频的频繁范围”。不清楚为什么频谱仪早前是和音频频率相关联的。

中频是指一种中间频率的信号形式。中频是相对于基带信号和射频信号来讲的，中频可以有一级或多级，它是基带和射频之间过渡的桥梁。

视频滤波器实质是一个低通过滤波器，但在传统纯模拟的频谱仪中，滤波之后的信号直接送给显示，该滤波器决定了驱动显示器垂直偏转系统的视频电路带宽。可能是因此将这个滤波器称为视频滤波器。

对数放大器，前面已经说明，传统上采用“对数放大器”这样的模拟器件实现量纲转换，现在只是数字方式实现上的一个简单的算术表达式了。





欢迎交流：

如果您想和本文作者进行进一步的技术交流，敬请发送电子邮件到 specialist@hwthinktank.com。如果您想要本文章的 PDF，请直接在微信对话框中回复您的电子邮箱地址，工作人员将在两个工作日内发送本文的 PDF 版本给您。

版权声明：

本微信所有文章皆为鼎阳硬件设计与测试智库专家呕心沥血之原创。希望我们的经验总结能够帮助到更多的硬件人，欢迎转载！我们鼓励分享，但也坚决捍卫我们的权益。引用请注明出处——“鼎阳硬件设计与测试智库”微信号（SiglentThinkTank）。鼎阳硬件设计与测试智库将保留追究文章非法盗用者法律责任的权利！”

【关于鼎阳】

鼎阳科技（SIGLENT）是一家专注于通用电子测试测量仪器及相关解决方案的公司。

从 2005 推出第一款数字示波器产品至今，10 年来鼎阳科技一直是全球发展速度最快的数字示波器制造商。历经多年发展，鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、台式万用表、直流电源等通用测试测量仪器产品。2007 年，鼎阳与高端示波器领导者美国力科建立了全球战略合作伙伴关系。2011 年，鼎阳发展成为中国销量领先的数字示波器制造商。2014 年，鼎阳发布了中国首款智能示波器 SDS3000 系列，引领“人手一台”型实验室使用示波器由功能示波器向智能示波器过渡的趋势。目前，鼎阳已经在美国克利夫兰和德国汉堡成立分公司，产品远销全球 70 多个国家，SIGLENT 正逐步成为全球知名的测试测量仪器品牌。

【关于鼎阳硬件设计与测试智库】

鼎阳硬件设计与测试智库（简称鼎阳硬件智库）由深圳市鼎阳科技有限公司领衔创办，是中国第一家“智力众筹”模式的硬件智库。

鼎阳硬件智库顺势顺势，倡导“连接-分享-协作-创造”的理念，高举志愿者服务的大旗，相信互联网是“爱”的大本营，相信人们都有发自内心分享的愿望。

鼎阳硬件智库选择硬件领域最普遍的七类问题：电源，时钟，DDR，低速总线，高速总线，EMC，测试测量进行聚焦。寻找“最针尖”的问题进行研讨，针对“最针尖”的问题组织专家答疑，将硬件大师积累的宝贵知识和经验变成公众财富，惠及更多硬件人。





鼎阳硬件智库的运作载体包括“线上”的微信公众号分享，微信群，网站，网络社区论坛，博客，邮件群等多种互联网工具和“线下”的专家论坛和专家把脉。“线上”的分享坚持原创，坚持干货，保持专注和深耕。“线下”专家论坛邀请硬件相关的一线实战派专家分享“最干货”的硬件设计与测试知识与经验，面对面相互研讨；“线下”的专家把脉，通过大数据连接，促使具体问题和最熟悉这个具体问题的专家“精准匹配”，远程问诊和现场解决问题相结合。

鼎阳硬件智库，群策群力，连接所有硬件人。

有硬件问题，找鼎阳硬件智库。

鼎阳硬件设计与测试智库

