

利用数字示波器应对瞬态频谱分析的挑战

罗德与施瓦茨(中国)科技有限公司

1 引言

数字示波器作为信号时域特性测试的主要工具在工程师的日常工作中发挥了重要作用。近年,随着射频嵌入式系统应用的发展,人们对于信号瞬态特性的研究更加关注。从通信、雷达、导航系统到物联网、汽车电子和可穿戴医疗设备,越来越多的设计人员希望不但从时域,而且从频域或时频分析等多个角度了解信号的瞬态特性。这对传统的数字示波器技术提出了新的挑战。R&S数字示波器创新性地将数字下变频(DDC)技术和时频分析的短时傅里叶变换和重叠FFT技术引入频谱分析功能,满足了用户对瞬态频谱分析的测试需求。

2 传统数字示波器频谱分析的局限性

市场上几乎每一台数字示波器都具有基于快速傅里叶变换(FFT)(如图1所示)的频谱分析功能。这一功能可以帮助使用者根据采样率和波形记录长度获得相应的频谱分析范围和分辨率带宽(RBW)。一些示波器为了方便频域参数设置,增加了类似频谱仪的操作界面,允许用户设置中心频率、SPAN和RBW等参数。但是由于在进行频谱分析时仍采用传统运算方式,对整个采集

数据进行加窗运算和后续的FFT运算,无法获得瞬态频谱分析结果。

主要原因如下:

1) 首先,传统数字示波器快速傅里叶变换是对整个一次采集数据进行周期拓展后获得的计算结果,在这一过程中,加窗操作和FFT运算都需要对整个采集数据进行,这一过程占用了大量时间。在运算完成前,示波器不能进行新的采集和分析,造成对瞬态过程的漏失。

2) 其次,传统数字示波器即使一次采集较长数据过程,也无法对数据进行短时傅里叶分析,对于一次采集

数据过程中发生的频域信息变化无法分辨。

上述原因导致传统数字示波器无法进行瞬态频谱分析,用户不得不求助于实时频谱分析仪等其他仪器来完成瞬态频谱分析的测试需求。需要注意的是,实时频谱分析仪也受到实时带宽的限制,如果用户的频率分析带宽超过了实时频谱分析仪的实时带宽,实时频谱分析仪也不能胜任这一工作需要。数字示波器具有宽带实时采集的特点,如何利用这一特点实现在时域和频域上对非稳态信号的测试分析成为数字示波器技术发展的挑战。

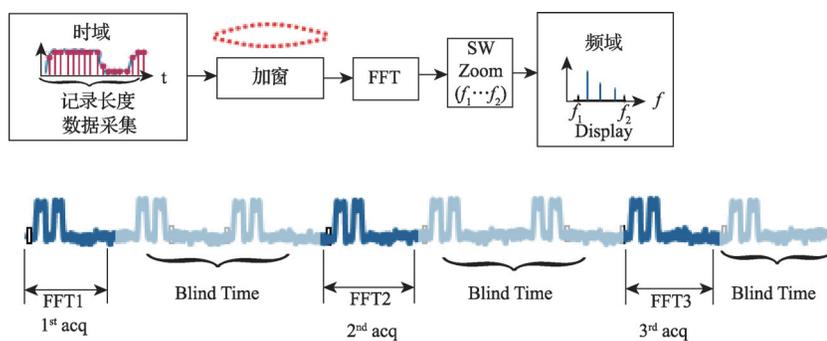
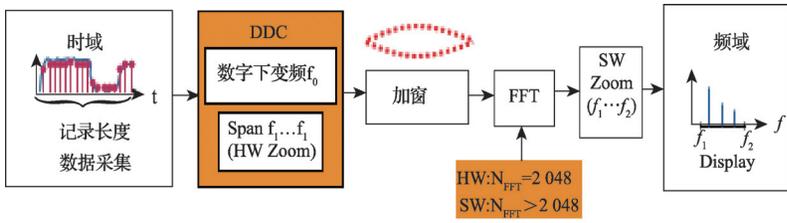


图1 传统数字示波器FFT实现方式

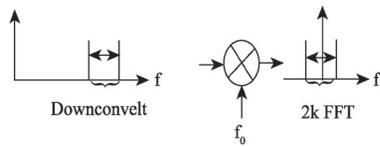
3 R&S数字示波器频域分析技术创新

R&S公司依托在频域分析领域多年的技术积累和优势,创新性地将在数字下变频(DDC)技术(如图2所示)

和时频分析技术(JTFA)中的短时傅里叶变换(Gabor变换)技术引入数字示波器领域,从系统结构上改变了数字示波器的频谱分析实现方式。



R&S RTO



基于DDC技术FFT的优势

- ✓ 更快的分析速度/更新率
- ✓ 更好的RBW(在FFT前细化)
- ✓ 更高的动态范围
- ✓ 灵活的配置(与频谱仪一样)

图2 R&S数字示波器基于DDC的FFT实现方式

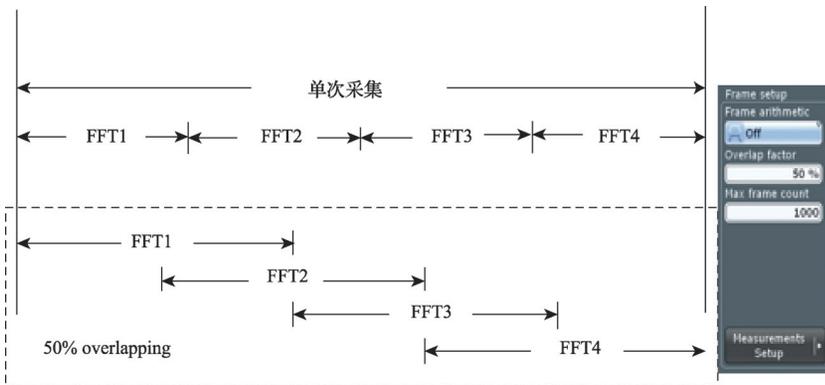


图3 R&S数字示波器分段FFT和重叠FFT的实现

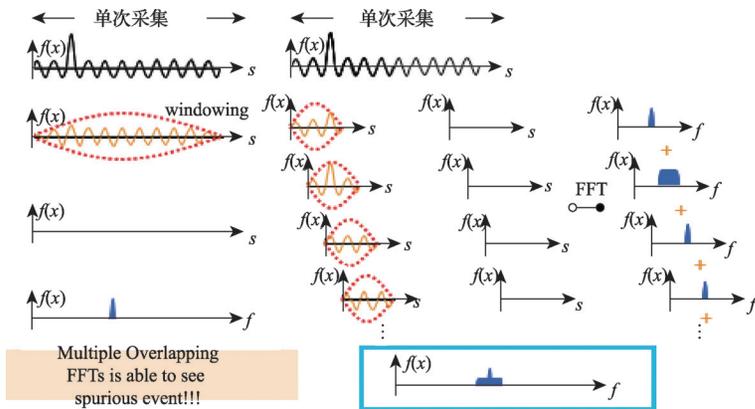


图4 传统FFT与R&S分段重叠FFT的比较

与传统数字示波器相比，R&S数字示波器中增加了实时硬件DDC模块，使信号在FFT之前先下变频到基带。分析中心频率 f_c 的设置等效于设置数控振荡器(NCO)的本振频率、频率分析范围(SPAN)和分辨率带宽(RBW)的设定直接调整DDC的参数。由于使信号下变频到基带并在基带进行重采样，从而减少了分析数据量，提高了分析处理速度。

另外，为了满足瞬态频谱和时频分析测试的需要，R&S数字示波器还增加了短时傅里叶变换(Gabor变换)分析功能。可以对一次采集的数据进行分段FFT和重叠FFT运算(如图3所示)，进一步提高频域事件的时间分辨率，帮助使用者探索和发现瞬变频域事件。

R&S数字示波器的频谱分析功能不仅在参数设置上采用了与传统频谱分析仪一样的控制选项，方便使用者的设置操作；同时由于其采用真正的硬件实时DDC进行选频，大大提高了对所关心频谱的动态分析范围和频谱分析的速度和精度。配合频谱色温显示技术(如图5所示)，只要2个同频信号出现的频度不同，R&S数字示波器可以对隐藏在大功率信号下的频率事件进行分析和辨识。改变了传统数字示波器频谱分析中由于采用峰值检波或频谱平均带来的无法辨识同频信号的弊端。

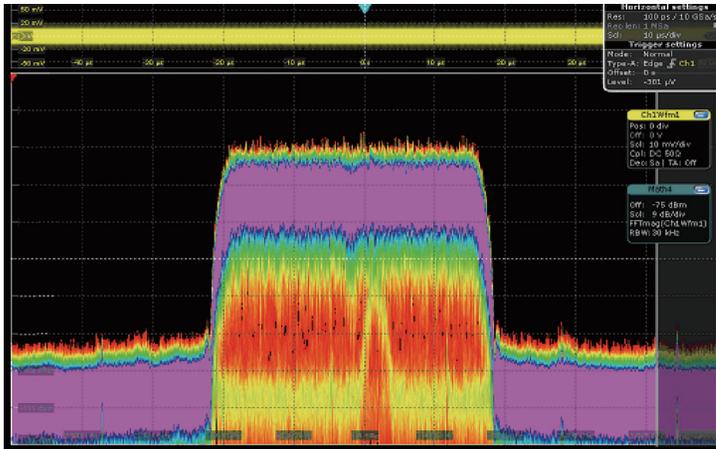


图5 利用色温显示发现隐藏在WLAN信号下的蓝牙信号

4 瞬态频谱测试实例

利用R&S数字示波器的瞬态频谱分析能力,工程师可以实现以往在传统数字示波器上无法实现的测试应用。

1) 板级EMI诊断和定位

无论是高速数字电路系统、开关电源或射频嵌入式系统,由于存在局部的电磁干扰因素,诊断和定位干扰源就成为设计人员采取进一步改进措施的必要条件。利用R&S数字示波器的频谱分析能力配合相应的近场探头,就可以帮助设计人员应对此类测试挑战。

设计人员可以通过将近场探头在板上移动至不同区域来发现潜在的干扰源。使用者还可以利用R&S示波器的频域模板功能(如图6所示),进行频域测试容限设置,自动完成EMI预认证测试。在2015年1月的美国DesignCon大会上R&S公司基于数字示波器的EMI诊断方案被业界认可并推选为最佳设计和测试工具奖。

2) 联合时频分析(joint time-

frequency analysis, JTFA)应用

时频联合域分析作为分析时变

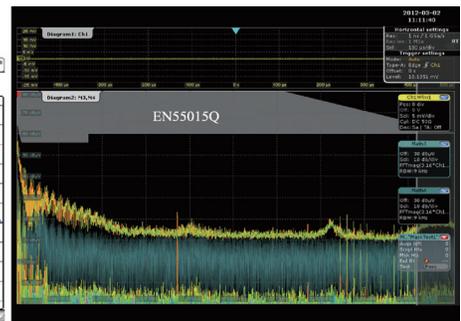
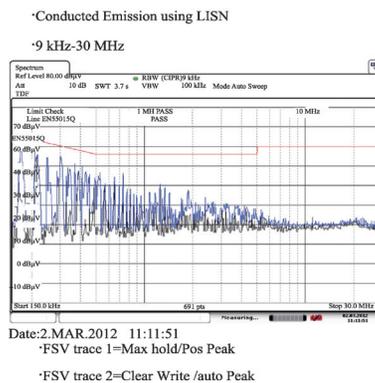


图6 利用频域模板进行EMI预认证测试

联合时频分析不是简单地利用示波器和频谱分析仪或射频通道对被测系统同时进行时域和频域测试。用户通常需要获得原始时域数据以便采用不同的分析方法对信号进行处理。R&S数字示波器利用同一套探头和采集通路获得原始的时域信号数据,并利用示波器内置的短时傅里叶变换和重叠FFT技术对信号的时频特性进行分析,并给出三维频谱显示。短时傅里叶变换在时频分析中具有分析速度快的优势,

非平稳信号的有力工具,成为现代信号处理研究的一个热点,它作为一种新兴的信号处理方法,近年来受到越来越多的重视。时频分析方法提供了时间域与频率域的联合分布信息,清楚地描述了信号频率随时间变化的关系。主要分析方法包括:

- a) 短时傅立叶变换(Gabor变换);
- b) 小波变换;
- c) Wigner-Ville分布;
- d) 希尔伯特黄变换(Hilbert-Huang Transform, HHT);

但很多用户还希望利用所获得的原始数据进行小波变换等其他分析来提高分析性能。R&S数字示波器满足了用户的这一需求。

5 总结

综上所述,通过引入数字下变频(DDC)技术和短时傅里叶变换(含Gabor变换)技术,R&S数字示波器大大提高了数字示波器的频谱分析能力,使其可以应对今天越来越多的对瞬态频谱分析和时频分析的需要,成为设计人员解决此类问题的利器。